



**OXANA
LISOVITSKAYA**

**MELHORIA DA QUALIDADE NA RMD
Recuperación Materiales Diversos, S.A.**



**OXANA
LISOVITSKAYA**

**MELHORIA DA QUALIDADE NA RMD
Recuperación Materiales Diversos, S.A.**

Relatório de projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho ao Ano Internacional de Estatística, *Statistics2013*.

o júri

presidente

Prof^a. Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof^a. Doutora Patrícia Helena Ferreira Lopes de Moura e Sá
Professora Auxiliar da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Prof^a. Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

agradecimentos

À minha orientadora da Universidade de Aveiro, Professora Helena Alvelos pela disponibilidade, ajuda e acompanhamento ao longo da realização deste projeto.

À RMD, uma empresa Espanhola, pela oportunidade de realizar este projeto durante o período de estágio e pela possibilidade de ter uma experiência profissional nesta área.

À minha orientadora da empresa, Eng^a Sonia Merino Pastor pelo apoio em questões de Qualidade empresarial e na minha integração na equipa do CAYMA - Departamento de Qualidade e Meio Ambiente.

Ao meu marido Eugénio pelo apoio moral durante todo o percurso académico, especialmente pelo apoio profissional no âmbito deste projeto.

À minha amiga Liliana Ávila pela ajuda concedida na minha integração no ambiente universitário e pelo apoio desde primeiro dia do meu percurso académico.

palavras-chave

Qualidade, Pneus, Reciclagem, Análise de Variância, Análise Fatorial, *Micronized Activated Rubber*

resumo

Um dos problemas que resulta do uso de pneus na indústria automóvel prende-se com o seu destino no final de vida. Reconhece-se a existência de algumas soluções como a valorização energética ou o armazenamento em grandes depósitos, mas aquela que parece ser a opção mais vantajosa, tanto a nível económico como ambiental, é a reciclagem.

Este trabalho centra-se na procura de soluções para a melhoria da qualidade de um produto derivado da borracha de pneus em fim de vida desenvolvido na RMD - *Recuperación Materiales Diversos, S.A.* e denominado *Micronized Activated Rubber* (MAR). Para tal, procedeu-se à identificação dos fatores críticos que afetam as propriedades físicas deste produto (a *Dureza*, a *Tensão de Rutura*, o *Alongamento de Rutura*, a *Resistência ao Rasgo*) e estudou-se o comportamento do produto final através da combinação dos diferentes fatores (*Matéria-prima*, *Granulometria*, *Composição*) e comparação das propriedades físicas obtidas, com o objetivo de determinar quais os fatores que influenciam de forma mais significativa o resultado final. Para atingir este objetivo foram analisados os efeitos de três tipos de *Matéria-prima* (MP1, MP2 e MP3), dois tipos de *Granulometria* (G1 e G2) e quatro tipos de *Composição* (A25, A50, A100, A150) nas propriedades físicas do MAR e utilizadas várias técnicas estatísticas entre as quais a Análise de Variância e a Análise Factorial.

Os resultados indicam que a *Matéria-prima* é um fator que influencia de uma forma estatisticamente significativa todas as propriedades físicas do MAR, apesar não se verificar a existência de uma diferença significativa entre as *Matérias-primas* MP1-MP2 para a *Dureza*, a *Tensão de Rutura* e o *Alongamento de Rutura*.

O fator *Composição* não se revela tão significativo no que respeita à medida de *Tensão de Rutura*, sendo extremamente significativo quando se trata das outras propriedades. Observa-se alguma similaridade das propriedades físicas dos dois conjuntos de *Composição* A25-A50 (para a *Tensão de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo*) e A100-A150 (no caso da *Dureza*, a *Tensão de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo*).

O fator *Granulometria* não tem influência significativa na *Dureza* e *Tensão de Rutura*; quanto ao *Alongamento de Rutura* e à *Resistência ao rasgo*, essas características do produto MAR estão dependentes deste fator, identificado como significativo.

Salienta-se que todos os fatores, quando interagem entre si, implicam alterações extremamente significativas na *Dureza* e a *Alongamento de Rutura*, mas, pelo contrário, são não significativos para a *Tensão de Rutura*. No caso da *Resistência ao rasgo*, nem todas as interações dos fatores contribuem na mudança desta propriedade do MAR.

keywords

Quality, Tires, Recycling, Analysis of variance, Factor analysis, Micronized Activated Rubber

abstract

One of the problems resulting from the use of Tires in the automotive industry relates to its destination at the end of life. It is recognized that there are some solutions such as energy recovery or storage in large deposits, but the one that seems to be the most beneficial, both in economic and environmental terms, is the recycling.

This work is focused on the searching for solutions for quality improvement of a product derived from Tires at the end of life developed by RMD - *Recuperación Materiales Diversos, S.A.*, and denominated *Micronized Activated Rubber (MAR)*. For such propose, there were identified the critical factors affecting the physical properties of this product (the *Hardness*, the *Tensile stress*, the *Elongation at break*, and the *Tear strength*) and studied the behaviour of the final product by combining different factors (*Raw Material*, *Particle Size*, *Composition*) and comparing the physical properties obtained, in order to determine which factors most significantly influence the final results. To achieve this goal, there were analysed the effects of three types of *Raw Material* (MP1, MP2 and MP3), two types of *Particle Size* (G1 and G2) and four types of *Composition* (A25, A50, A100, A150) on the physical properties of MAR. Several statistical techniques were used for such propose, including Analysis of Variance and Factor Analysis.

The results show that the *Raw materials* is a factor that has a significant influence on the physical properties of the MAR, however there is not a significant difference between the *Raw Materials* MP1 and MP2 on *Hardness*, *Tensile stress* and *Elongation at break* properties.

The factor *Composition* provides some distinction on properties between the different products of MAR, being less significant on *Tensile stress* but becoming extremely significant when comparing the remaining properties. Nonetheless it is observed some similarity of the physical properties of the two sets of *Composition* A25-A50 (for *Tensile stress* and *Tear strength*) and A100-A150 (in the case of *Hardness*, *Tensile stress* and *Tear strength*).

The factor *Particle Size* does not have a significant influence on *Hardness* and *Tensile stress* properties; on the other hand *Elongation at break* and *Tear strength* properties of MAR have some dependence of this factor, which is identified as significant.

It should be noted that all factors imply extremely significant changes in *Hardness* and *Elongation at break* when they interact with each other, except for *Tensile stress*. In case of *Tear strength*, not all the interactions of factors contribute to a significant change on properties of MAR.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema e desenvolvimento	1
1.2. Metodologia e objetivos	2
1.3. Organização do trabalho	2
CAPÍTULO 2 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	3
2.1. A Indústria de Reciclagem de Pneus – o objeto de investigação	3
2.1.1. <i>O pneu: história e atualidade</i>	3
2.1.2. <i>Os principais benefícios das soluções de pneus usados</i>	5
2.2. A importância da Qualidade como uma área de investigação	7
2.2.1. <i>O conceito de Qualidade</i>	7
2.2.2. <i>As Ferramentas e Técnicas da Qualidade</i>	11
2.3. A Estatística para a Qualidade.....	15
2.3.1. <i>O papel da Estatística</i>	15
2.3.2. <i>Metodologias para a Análise de Dados</i>	18
CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO EMPÍRICO	22
3.1. Apresentação da RMD – Recuperación Materiales Diversos, S.A.....	22
3.2. Sistema de Gestão de Qualidade na RMD	24
3.3. Linha tecnológica de reciclagem dos pneus na RMD	26
3.3.1. <i>Descrição do processo tecnológico: Processos primários</i>	26
3.3.2. <i>Controlo da Qualidade: Processos primários</i>	30
3.3.3. <i>Controlo de Qualidade: Processos avançados</i>	31
3.3.4. <i>Controlo da Qualidade: Produto final</i>	32
3.4. Linha piloto de reciclagem dos pneus: Micronização	33
3.4.1. <i>Características principais do MAR</i>	33
3.4.2. <i>Descrição do processo tecnológico</i>	34
3.4.3. <i>Descrição do processo laboratorial</i>	36
3.4.4. <i>Propriedades físicas de MAR</i>	40
CAPÍTULO 4 – PROJETO DE MELHORIA CONTÍNUA NA RMD	43
4.1. Análise descritiva dos dados recolhidos.....	43
4.1.1. <i>Dureza</i>	44
4.1.2. <i>Tensão de Rutura</i>	46

4.1.3.	<i>Alongamento de Rutura</i>	47
4.1.4.	<i>Resistência ao rasgo</i>	49
4.2.	Determinação da dependência das propriedades físicas do MAR.....	51
4.2.1.	<i>Dureza</i>	51
4.2.2.	<i>Tensão de Rutura</i>	53
4.2.3.	<i>Alongamento de Rutura</i>	54
4.2.4.	<i>Resistência ao rasgo</i>	55
4.3.	Avaliação das inter-relações das propriedades físicas do MAR.	60
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....		63
REFERÊNCIAS		65
ANEXOS		67
Anexo 1 – Atualidade do problema de investigação.....		69
Anexo 2 – A identificação das diversas categorias de pneus usados.....		71
Anexo 3 – Composição de Pneus Ligeiros e Pesados		71
Anexo 4 – Historia de Qualidade		73
Anexo 5 – Processos tecnológicos: Controlo de Qualidade		76
Anexo 6 – Uma gama e as caraterísticas dos produtos produzidos na RMD.....		79
Anexo 7 – Propriedades do MAR: comparação dos médios		83
Anexo 8 – Propriedades do MAR: gráficos dos médios		85
Anexo 9 – Estatística Descritiva dos ensaios do MAR		87
Anexo 10 – ANOVA: Fatores entre assuntos.....		87
Anexo 11 – ANOVA: Teste de normalidade.....		88
Anexo 12 – ANOVA: Teste de homogeneidade.....		88
Anexo 13 – MANOVA: Teste de homogeneidade		88
Anexo 14 – ANOVA: Comparações múltiplas (Dureza)		89
Anexo 15 – ANOVA: Comparações múltiplas (Tensão de Rutura)		90
Anexo 16 – ANOVA: Comparações múltiplas (Alongamento de Rutura)		91
Anexo 17 – ANOVA: Comparações múltiplas (Resistência ao Rasgo)		92
Anexo 18 – MANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Tensão de Rutura, Resistência ao Rasgo) .		93
Anexo 19 – MANOVA: Comparações múltiplas (Tensão de Rutura, Resistência ao Rasgo)		94

Tabela 1 – Composição das amostras estudadas.....	38
Tabela 2 – Processo laboratorial de preparação das amostras	39
Tabela 3 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Dureza)	52
Tabela 4 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Dureza)	52
Tabela 5 – ANOVA: Testes de efeitos entre factores (Tensão de Rutura)	53
Tabela 6 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Tensão de Rutura)	54
Tabela 7 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Alongamento de Rutura)	55
Tabela 8 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Alongamento de Rutura)	55
Tabela 9 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Resistência ao Rasgo)	56
Tabela 10 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Resistência ao Rasgo)	56
Tabela 11 – Notação do grau de significância do teste.....	57
Tabela 12 – Grau de significância dos fatores estudados nas propriedades físicas do MAR.....	57
Tabela 13 – Matriz de igualdade das propriedades físicas do MAR: Matéria-prima	58
Tabela 14 – Matriz de igualdade das propriedades físicas do MAR: Composição	59
Tabela 15 – Análise Fatorial: Teste de Esfericidade	60
Tabela 16 – Análise Fatorial: Matriz de correlações	60
Tabela 17 – Análise Fatorial: Comunalidades	61
Tabela 18 – Análise Fatorial: Variância total explicada.....	61
Tabela 19 – Análise Fatorial: Matriz dos componentes	62
Tabela 20 – Análise Fatorial: Matriz de correlação entre os componentes.....	62
Figura 1 – Composição de um pneu	4
Figura 2 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Trituração.....	27
Figura 3 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Pré-granulação e Granulação	28
Figura 4 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Micronização.....	35
Figura 5 – Especificação do MAR: 24 tipos do produto	36
Figura 6 – Fluxograma dos processos laboratoriais de Micronização.....	37
Figura 7 – Uma forma de apresentação das propriedades do MAR	40
Figura 8 – Amostragem do problema de investigação.....	43
Figura 9 – Distribuição de frequências da Dureza.....	44
Figura 10 – Distribuição de frequências da Tensão de Rutura.....	46
Figura 11 – Distribuição de frequências do Alongamento de Rutura	48
Figura 12 – Distribuição de frequências de Resistência ao Rasgo	50
Figura 13 – Análise Fatorial: Gráfico dos valores próprios.....	61
Figura 14 – Análise Fatorial: Gráfico de componente em espaço rotacionado	62

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Problema e desenvolvimento

As tendências atuais de evolução da sociedade conduziram ao aparecimento de dois tipos de desafios a nível mundial: económicos e ecológicos. Para alguns setores industriais esses dois tipos de desafios estão particularmente relacionados: por um lado verifica-se o baixo poder aquisitivo dos consumidores e ausência de procura no mercado, e por outro lado, há a necessidade de cumprir as obrigações para com a sociedade de forma a evitar a degradação ambiental ao nível global. A indústria de reciclagem dos pneus é um exemplo de indústria que enfrenta este tipo de desafios.

Um dos problemas que resulta do uso de pneus na indústria automóvel é precisamente o que fazer com eles no final da sua vida útil. Existem várias soluções (Anexo 1, Anexo2) que vão desde a valorização energética até ao armazenamento em enormes depósitos, mas sem dúvida, a opção mais conveniente é a reciclagem. Esta permite eliminar o problema do impacto ambiental destes elementos tão necessários na sociedade, dando um novo fôlego aos produtos que estejam classificados como lixo e prolongando o seu ciclo devida.

A reciclagem ocupa a maior quota do mercado oferecendo aos seus clientes granulado de borracha de diferentes tamanhos, que pode ser utilizado como produto aditivo, maioritariamente em processos de construção (rodoviários, pavimentos desportivos e infantis), ou seja, como um modificador para melhorar as propriedades dos materiais, embora nem sempre ao preço mais acessível. As últimas tendências da atividade neste setor económico mostram uma diminuição significativa das vendas deste tipo de produtos devido à crise económica. No entanto, os problemas ambientais que se verificam a um nível global fazem com que cada vez mais seja necessário recorrer ao processo de reciclagem, como forma de aproveitar ao máximo os recursos existentes.

Uma forma de evitar esta situação pode passar pelo desenvolvimento e implementação de novos produtos funcionais com custos competitivamente baixos, utilizando para isso resíduos recicláveis como matéria-prima.

A *Recuperación Materiales Diversos, S.A.* (RMD) oferece uma solução deste género, através de um novo produto denominado *Micronized Activated Rubber* (MAR), lançado recentemente no mercado. Através da sua gama de produtos MAR elimina o problema dos pneus em fim de vida e dos resíduos de fabrico da indústria da borracha, transformando-os numa solução tecnológica e ambientalmente sustentável. O uso destes produtos proporciona aos clientes grandes benefícios, entre os quais se assinalam: redução de custos, melhoria das propriedades e desempenho dos seus produtos, aumento da sustentabilidade e melhoria da sua pegada de carbono, eliminação de desperdícios de fabrico e de gastos em gestão ambiental, diminuição da influência dos preços do petróleo nos custos de matérias-primas, entre outros.

Como é um produto relativamente novo, a RMD decidiu estudar da forma mais detalhada possível as características deste produto, compreender as causas de variabilidade do resultado final e determinar os fatores que influenciam significativamente as propriedades físicas do MAR. Neste estudo, estão envolvidos muitos especialistas de diferentes áreas: engenheiros da RMD,

responsáveis pela realização de ensaios no laboratório da empresa, potenciais clientes que avaliam a qualidade do material nos seus próprios laboratórios, e ainda os estudos realizados em laboratórios certificados e independentes, através dos quais estão envolvidos investigadores universitários. O presente trabalho resulta do estágio desenvolvido na referida empresa.

1.2. Metodologia e objetivos

Antes de começar o desenvolvimento do problema de investigação foi levada a cabo uma pesquisa sistemática da literatura com o objetivo de aprofundar os conhecimentos necessários à realização do projeto.

O estudo realizado teve como principal objetivo estudar o comportamento do produto MAR, através da combinação de diferentes fatores e a comparação das propriedades físicas obtidas, com vista a determinar quais os fatores que influenciam de forma significativa o resultado final, ou seja, pretende-se determinar a dependência das propriedades físicas do MAR (a *Dureza*, a *Tensão de Rutura*, o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência do Rasgo*) relativamente a alguns fatores, *inputs* do processo produtivo (tipo de *Matéria-prima*, *Granulometria* e *Composição*).

A análise dos dados obtidos durante o estudo, com o objetivo de identificar as relações entre as diferentes variáveis envolvidas no processo tecnológico, foi efetuada através da utilização das técnicas estatísticas, particularmente Estatística Descritiva, ANOVA e Análise Fatorial, com recurso a um programa específico (SPSS).

1.3. Organização do trabalho

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos interligados entre si.

No capítulo 1 é feita uma breve introdução ao trabalho.

O Capítulo 2 é dedicado ao enquadramento teórico com base na revisão da literatura das áreas consideradas relevantes para o estudo. Deste modo, são descritas as características principais do objeto de investigação, neste caso, a indústria de reciclagem de pneus, é explicada a área de investigação em causa, a Qualidade, são apresentados alguns conceitos da área da Estatística e são abordadas algumas ferramentas de Análise de dados, passíveis de serem utilizadas no âmbito da Melhoria da Qualidade.

O Capítulo 3 diz respeito ao estudo empírico onde é apresentada a empresa onde foi realizado o estágio, são descritas as suas principais áreas de atividade, os principais processos produtivos e é descrito um sistema atual de Gestão de Qualidade. Com maior detalhe, descrevem-se as características e procedimentos, tanto tecnológicos como laboratoriais, do produto em estudo, o MAR.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados da investigação realizada no âmbito do projeto de melhoria de Qualidade: analisam-se e interpretam-se os dados, obtidos durante o estudo, determinam-se os fatores críticos que têm influência nas propriedades físicas do MAR e avalia-se o nível de significância destes fatores.

No Capítulo 5, antes de terminar o documento, apresentam-se de um modo sucinto as principais conclusões do estudo, outras observações consideradas pertinentes e sugestões para desenvolvimento de projetos futuros.

CAPÍTULO 2 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1. A Indústria de Reciclagem de Pneus – o objeto de investigação

2.1.1. O pneu: história e atualidade

O pneu, componente imprescindível ao funcionamento dos veículos, passou por muitas etapas desde sua origem, no século XIX, até atingir a tecnologia atual. A invenção do pneu remonta há mais de um século e possui factos curiosos, alguns deles causadores da falência de alguns empresários (ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos).

A história da borracha teve o seu início no ano de 1829 (Michelin Corporate), quando *Édouard Daubree* se casou com uma escocesa, *Elizabeth Pugh Barker*, sobrinha de Macintosh, cientista que descobriu a solubilidade de borracha em benzeno. Foi ela a responsável pela introdução da borracha na região francesa de *Auvergne*, através da fabricação de bolas de jogo para as crianças, primeiro manualmente e depois com a ajuda de uma máquina inventada pelo seu marido. Em 1832 Dois primos, *Aristide Barbier* e *Édouard Daubree*, abriram uma pequena fábrica de máquinas agrícolas e bolas de borracha em *Clermont-Ferrand*. Eles conseguiram prever as potenciais aplicações industriais da borracha e utilizá-la para fabricarem juntos válvulas e tubos. Muitas experiências iniciadas pelo americano *Charles Goodyear*, por volta de 1830, confirmaram acidentalmente que a borracha cozida a altas temperaturas com enxofre mantinha as suas condições de elasticidade no frio ou no calor. Estava descoberto assim o processo de vulcanização da borracha que, além de dar forma ao pneu, aumentou a segurança nas travagens e diminuiu as trepidações nos carros (ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos).

Alguns anos mais tarde começou a evolução dos pneus. Em 1845, os irmãos *Michelin* foram os primeiros a patentear o pneu para automóvel (ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos). As etapas iniciais de desenvolvimento dos pneus ainda contaram com os contributos do inglês *Robert William Thomson*, um engenheiro ferroviário escocês, que em 1847 conseguiu fabricar e obter a patente para a "roda aérea" (*aerial wheel*). Esta invenção consistiu num tubo feito de "uma série de dobras de tecido, saturada e coberta em ambos os lados com borracha ou *gutta-percha*" (uma substância obtida a partir do látex de uma árvore da Malásia), então vulcanizada e coberta com couro. Em 1888 o veterinário *John Boyd Dunlop* imaginou uma roda, que foi revestida de tecido, goma, couro e ar. Este pneu imperfeito foi aplicado rapidamente a bicicletas e ganhou muito sucesso (ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association) e a partir deste ano, com a utilização do pneu em larga escala, as fábricas passaram a investir mais na sua segurança (ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos). Mais tarde, em 1891, dois irmãos, *André* e *Edouard Michelin* descobriram o pneu desmontável, uma invenção considerada o antepassado do pneu como o conhecemos hoje.

Um pneu é constituído pelos seguintes componentes (Figura 1):

- (1) Uma capa de borracha sintética muito estanque ao ar. Esta capa encontra-se no interior do pneu e funciona como câmara-de-ar.
- (2) A carcaça é constituída por finos cabos de fibras têxteis dispostas em ângulos rectos e colados na borracha. Estes cabos são um elemento chave da estrutura do pneu e permitem-lhe resistir à pressão.
- (3) Um talão cuja função é transmitir os binários do motor e de travagem da jante à área de contacto com o solo.
- (4) Os aros de talão servem para fixar o pneu à jante.
- (5) Os flancos de borracha macia protegem o pneu contra os choques que poderiam causar danos na carcaça, como pequenos choques contra o passeio, buracos, etc. Uma borracha dura assegura a ligação entre o pneu e a jante.
- (6-7) As lonas de reforço, feitas com cabos de aço muito finos, mas muito resistentes, são cruzadas obliquamente e coladas uma sobre a outra. O cruzamento dos seus fios com os da carcaça forma triângulos indeformáveis. Dependendo das lonas de reforço aplicadas, os pneus resultantes são de diferentes tipos (Nankook Tyre Co. LTda): 1) diagonais – camadas de material têxtil são colocadas na carcaça do pneu diagonalmente ao talão do pneu num ângulo de 40 graus com a linha central da banda de rodagem; radiais – quando se usam cordas metálicas com 90º de ângulo; 3) sem câmara – um tipo conta um revestimento interno de borracha especial, com baixa permeabilidade de ar, previnem vazamentos do ar do pneu e da roda, outro tipo é hermeticamente insuflado, com uma liga de cimento por dentro do inner liner para diminuir qualquer vazamento de ar.
- (8) A banda de rolamento é disposta sobre as lonas de reforço. Esta parte do pneu, que receberá as esculturas, ficará em contacto com a estrada. Na área de contacto com o solo, a banda de rolamento tem que resistir a esforços muito importantes. A mistura que a constitui deve ser aderente em todos os tipos de solos, resistir ao desgaste, à abrasão, e aquecer o menos possível.



Figura 1 – Composição de um pneu
(Fonte: Michelin Corporate)

O pneu é um produto composto de vários materiais (Borracha sintética, Negro de Fumo (Fuligem), Aço, Têxtil, Óxido de Zinco, Enxofre e Aditivos, Anexo 3), com propriedades muito diferentes, cujo fabrico implica uma grande precisão. Deve notar-se que a composição dos pneus Ligeiros e Pesados é um pouco diferente, uma vez que cada fabricante vai aperfeiçoando a sua própria “receita”, o que lhe fornece vantagem competitiva face aos concorrentes.

2.1.2. Os principais benefícios das soluções de pneus usados

No final do seu ciclo da vida os pneus usados passam a designar-se por resíduos e podem ser tratados de quatro modos diferentes: reutilização, recauchutagem, reciclagem ou valorização. Cada uma destas alternativas apresenta vantagens e desvantagens.

A **reutilização** pode prolongar a vida útil só dos pneus Pesados. Esta prática não é admissível para pneus Ligeiros, porque a profundidade do piso nas ranhuras não é suficiente (Basel Convention 1999).

A **recauchutagem** designa o processo técnico que permite a extensão de vida de um pneu usado e consiste basicamente na substituição da banda de rodagem desgastada (ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association). Através de recauchutagem, 80% dos pneus ficam disponíveis para reutilização (Basel Convention 1999). O pneu recauchutado pode voltar a ser utilizado nas mesmas condições de serviço, sem sacrificar o desempenho dos pneus na estrada. Este processo pode ser repetido enquanto a integridade da embalagem é garantida. A produção de pneus recauchutados está concentrada principalmente em pneus Pesados, Ligeiros utilizados fora da estrada e pneus de aviões. Neste âmbito, considera-se a existência de dois tipos de processos possíveis (ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association):

1. Recauchutagem "Pré-moldada" ou "*cold cure*" (corresponde a 49% de todos os pneus recauchutados da Europa): aplica-se aos pneus de camiões (Pesados) e automóveis (Ligeiros). O novo passo que será aplicado é pré-vulcanização para forma final. A capa e a banda de rolamento são reticuladas em autoclave. A principal vantagem deste processo é a sua flexibilidade para produzir pequenas séries de vários tamanhos e modelos
2. Recauchutagem "*Mould-cure*" ou "*hot cure*" (51% de todos os pneus reformados da Europa): ao pneu usado aplica-se uma nova camada de banda de rolamento não curada *com a mesma composição*. A vulcanização ocorre num molde de pneu apropriado. Este método aplica-se a produção em massa, devido ao alto custo de manutenção e de investimento. Tecnicamente, o processo de recauchutagem envolve seis etapas: 1) Inspeção inicial, 2) Raspagem, 3) Preparação da superfície dos pneus e renovação/reparação, 4) Envolvimento, 5) Vulcanização, 6) Inspeção final.

A **reciclagem** é o processo mais favorável para as empresas de recuperação de resíduos e uma parte substancial dos pneus usados destina-se normalmente para este processo de tratamento. Os dois dos processos mais conhecidos de reciclagem de pneus usados são (Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus Lda.):

1. O processo mecânico, que consiste na trituração mecânica dos pneus. A borracha é fragmentada numa série de trituradoras e moinhos, sendo o aço retirado através de separação magnética e o têxtil separado por diferença de densidade. No final do processo, o granulado de borracha é dividido em várias gamas, consoante a sua granulometria, através de crivos com diferentes dimensões de malha.

2. *No processo criogénico* é utilizado azoto líquido para congelar a borracha à temperatura aproximada de -160°C , num túnel criogénico, o que permite a fragmentação da borracha e a produção de granulado de borracha fino. O pneu sofre uma primeira trituração mecânica sendo em seguida os seus fragmentos transportados para o túnel criogénico, onde a temperatura de entrada do azoto é de aproximadamente -192°C e a temperatura de saída da borracha é cerca de -80°C . Após a passagem pelo túnel criogénico e pelos martelos pneumáticos, o aço e o têxtil do pneu são separados da borracha através de separação magnética e por aspiração, respetivamente.

As matérias-primas obtidas após a reciclagem de pneus são (por ordem de importância e valor): granulado de borracha, aço e fibras têxteis. De acordo com o seu tamanho, o granulado de borracha pode ser classificado de acordo com a sua granulometria que vai desde o pó que se utiliza como um aditivo aos betumes asfálticos, até aos vários milímetros de diâmetro, cujas utilizações vão desde o fabrico de móveis, placas e pisos elásticos, auto drenantes, como um campo de futebol, até a indústria do calçado. Portanto, trata-se de um produto novo e acessível, cujo campo de aplicação industrial cresce de dia para dia. O aço estrutural do pneu, que se separa completamente de borracha após triturações sucessivas, é vendido diretamente como sucata para as siderurgias. As fibras têxteis, apesar de serem consideradas um resíduo do processo, quando convenientemente tratadas, permitem a avaliação como isolamento térmico e acústico de baixo custo, e a utilização como um combustível de forma de briquetes ou pellets graças ao seu poder calorífico (RMD - Recuperación Materiales Diversos S.A.).

Por fim, os pneus usados podem ser usados em **valorização energética** como combustível complementar ou alternativo para o fabrico de cimento ou para a produção de electricidade e vapor em unidades de co-geração devido ao seu elevado poder calorífico, que ronda os 5.700 kcal/kg , ligeiramente inferior ao do carvão que é de 6.800 kcal/kg (Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus Lda.). A utilização de pneus usados como combustível alternativo permite ainda a redução de emissões por combustão da biomassa, face à utilização de combustíveis fósseis, devido à componente de borracha natural existente nos pneus.

2.2. A importância da Qualidade como uma área de investigação

2.2.1. O conceito de Qualidade

A Qualidade evoluiu até aos nossos dias essencialmente através de quatro Eras (Anexo 4), ao longo das quais a arte de obter Qualidade foi assumindo formas distintas (Barçante 1998):

- I. **Era da Inspeção** – Qualidade com foco no produto (final do século XVIII e início do século XIX). A Qualidade era obtida através da inspeção, controlo e separação dos "bons" e dos "maus" produtos. Aos inspetores cabia a tarefa de identificação e quantificação das peças defeituosas; estas eram removidas e trocadas sem que se fizesse uma avaliação das causas reais do problema para prevenir a sua repetição. O objetivo principal era obter Qualidade igual e uniforme em todos os produtos. Ênfase na conformidade.
- II. **Era do Controlo Estatístico da Qualidade** – Qualidade com foco no processo (até o final da década de 40). Começa-se a estruturar o estilo de gestão corretiva: identificar as causas reais e agir sobre elas. A matéria prima, o operador e o equipamento são algumas das fontes de variabilidade (causas) que podem apresentar variações no seu desempenho e nas suas características e, portanto, afetar o produto (efeito). O conhecimento destas variações permite que, a partir da sua quantificação e do estabelecimento de limites estatísticos, seja possível manter o processo sob estado de controlo. Através dos gráficos de controlo de processo é possível identificar, minimizar e, algumas vezes, remover as causas especiais de variação.
- III. **Era da Garantia da Qualidade** – Qualidade com foco no sistema (até o final da década de 70). Caracterizou-se pela valorização do planeamento para a obtenção da Qualidade, da coordenação das atividades entre os diversos departamentos, do estabelecimento de padrões da Qualidade além das já conhecidas técnicas estatísticas.
- IV. **Era da Gestão da Qualidade Total** ("*Total Quality Management* - TQM") – Qualidade com foco no negócio (até à atualidade). A Gestão da Qualidade Total envolve a aplicação progressiva da Qualidade a todos os aspectos do negócio. Neste sentido, a gestão da Qualidade é aplicada em tudo o que se faz na empresa e em todos os seus níveis e áreas, incluindo vendas, finanças, compras e outras atividades não ligadas à produção propriamente dita.

Reid e Sanders (2009) confirmam que a definição de qualidade depende do papel das pessoas que a definem. A maioria dos consumidores tem dificuldade em defini-la, mas cada vez que se deparam com ela na sua vida, conseguem reconhecê-la. A dificuldade em definir a qualidade existe independentemente do tipo do produto, e quer se tratem de empresas industriais ou de serviços. Estes autores introduzem a importância dos critérios psicológicos na definição da qualidade subjetiva, que se centra na avaliação crítica através da percepção pessoal de diferentes fatores, tais como o ambiente do local, o prestígio percebido do produto ou, da mesma forma, a associação de alguns produtos à excelência por causa de sua reputação.

Os Gurus de qualidade – Deming, Juran, Crosby, Feigenbaum, Ishikawa, propõem as suas versões deste conceito, adequadas ao tempo em que foram formuladas, uma vez que representam as tendências da cada era:

- Juran** Qualidade é a adequação ao uso (Barçante 1998).
"Qualidade" refere-se a características dos produtos que satisfaçam as necessidades do cliente. O objetivo principal da melhoria da qualidade é proporcionar uma maior satisfação do cliente e obter o aumento dos lucros. No entanto, proporcionar mais e/ou melhores características de qualidade, geralmente implica investimento e, portanto, envolve o aumento dos custos. Por outro lado, a "qualidade" significa a ausência de deficiências, de erros que obriguem a fazer o trabalho de novo (retrabalho) ou que resultem em falhas, na insatisfação ou reclamações dos clientes, etc. Neste sentido, a qualidade é orientada para os custos, e maior qualidade geralmente "custa menos".
Qualidade é a totalidade das características que uma entidade tem capacidade de proporcionar, com o intuito de satisfazer necessidades explícitas e implícitas dos seus clientes (1999).
Conceitos que foram desenvolvidos para apoiar a sua filosofia incluem: (1) the "*Spiral of Progress in Quality*," (2) the "*Breakthrough Sequence*," (3) the "*Project-by-Project Approach*," (4) the "*Juran Trilogy*," and (5) the principle of the "*Vital Few and Trivial Many*" (Suarez 1992).
- Crosby** Qualidade é a conformidade com as especificações, e não elegância (Barçante 1998). Segundo Crosby, a gestão empresarial deve medir a Qualidade continuamente, acompanhando o custo de fazer erros e refere-se a isso como o "preço da não conformidade" (Suarez 1992). O seu ponto de vista acerca da qualidade é melhor descrito pelos seguintes conceitos: (1) "*Do It Right the First Time*"; (2) "*Zero Defects*" and "*Zero Defects Day*"; (3) the "*Four Absolutes of Quality*"; (4) the "*Prevention Process*"; (5) the "*Quality Vaccine*"; and (6) the "*Six C's*" (Suarez 1992).
- Deming** Qualidade é sentir orgulho pelo trabalho bem feito. A melhoria da Qualidade eleva a produtividade (Barçante 1998).
Estas definições refletem a ênfase nos métodos quantitativos e aplicados em produtos com (1) um grau de uniformidade previsível, como o resultante de variabilidade reduzida, (2) custo inferior, e (3) aptidão para o mercado. Em *Out of the Crisis*, ele é cauteloso na definição de qualidade e caracteriza a dificuldade em alcançá-la. "A dificuldade em definir qualidade é traduzir as necessidades futuras do utilizador em características mensuráveis, de modo a que um produto possa ser projetado de forma a satisfazer os clientes pelo preço que vai pagar" ((1986) em Suarez 1992). Conceitos associados à abordagem do Deming incluem: (1) the "*System of Profound Knowledge*," (2) the "*Plan-Do-Check-Act Cycle*," (3) "*Prevention by Process Improvement*," (4) the "*Chain Reaction for Quality*

Improvement," (5) *"Common Cause and Special Cause Variation*," (6) the *"14 Points*," and (7) the *"Deadly" and "Dreadful Diseases"* (Suarez 1992).

Ishikawa Rápida percepção e satisfação das necessidades do mercado, adequação ao uso dos produtos e homogeneidade dos resultados do processo (baixa variabilidade). (Barçante 1998). Conceitos que desenvolveu: (1) the *"Ishikawa Diagram"* or the *"cause-and-effect diagram"* (2) the *"Seven Basic Quality Tools"*, (3) the *"Quality Circles"*, (4) the *"Company-wide Quality"* (QualityGurus.net).

Feigenbaum Qualidade é uma forma de gerir os negócios da empresa. O aprimoramento da Qualidade só pode ser alcançado numa empresa com a participação de todos (Barçante 1998). Conceitos desenvolvidos por este autor: (1) the *"Total Quality Control"*, (2) the *"Hidden Plant"*, (3) the *"Quality Costs"* (QualityGurus.net).

Conforme as atuais normas Internacionais (NP EN ISO 9000 2005) a Qualidade pode ser definida como "o grau de satisfação de requisitos (necessidade ou expectativa expressa, geralmente implícita ou obrigatória) dado por um conjunto de características (elementos diferenciadores) intrínsecas".

Garvin (em Kaltenecker 1995; Montgomery 2009) apresenta os seguintes oito componentes ou dimensões da qualidade:

1. **Desempenho** (*Performance*) – o produto é o que promete ser?
É a capacidade do produto responder às solicitações para as quais foi projetado.
2. **Confiabilidade** (*Reliability*) – com que frequência o produto falha?
É a probabilidade do produto não falhar num determinado período de tempo, sob determinadas condições de operação e pode ser medida objetivamente pela taxa de falhas, pelo tempo médio entre falhas ou pelo tempo médio até a primeira falha.
3. **Durabilidade** (*Durability*) – quanto tempo o produto vai durar?
Possui conotações económicas e tecnológicas. Do ponto de vista económico, traduz um valor de revenda mais alto, o que é muito atraente para o consumidor. Do ponto de vista tecnológico, significa o período de tempo em que é possível utilizar um produto, ou seja, qual é a sua vida útil.
4. **Atendimento** (*Serviceability*) – como é fácil reparar o produto?
Esta dimensão representa a velocidade e facilidade de reparo e pode ser medida objetivamente pelo tempo médio necessário para reparar um produto. A competência do reparo pode ser atestada se o serviço for solicitado novamente para resolver o mesmo defeito.
5. **Estética** (*Aesthetics*) – que aspeto o produto tem?
Esta é a dimensão mais subjetiva e está relacionada com o padrão de beleza individual do cliente, que muitas vezes tem em conta fatores como estilo, cor, forma, embalagem.

6. **Características secundárias** (*Features*) – o que o produto fornece?

Esta categoria representa as características adicionais que complementam o funcionamento básico dos produtos, é o “algo mais” de cada produto.

7. **Qualidade Percebida** (*Perceived Quality*) – qual é a reputação da empresa ou do produto?

É a influência que o nome do fabricante e a propaganda exercem sobre o cliente, ou seja, a sua percepção da qualidade do produto. A reputação de uma empresa tem uma influência decisiva nesta categoria. A qualidade percebida, a lealdade do cliente e os negócios repetidos estão estreitamente interligados.

8. **Conformidade** (*Conformance to Standards*) – o produto é feito exatamente como o designer pretende? Entende-se o grau com que um produto atende aos padrões preestabelecidos, tanto em relação às dimensões nominais especificadas como em relação às características de operação. Esta dimensão está associada à uniformidade da produção e controlo da variabilidade.

Hoje em dia a aptidão de uso pode estar avaliada segundo dois aspetos gerais: a qualidade do design (*quality of design*) e a qualidade de conformidade (*quality of conformance*). Quando todos os produtos e serviços são fabricados em vários graus ou níveis de qualidade de forma intencional o termo técnico apropriado é a qualidade do design. A qualidade de conformidade é o modo como o produto está em conformidade com as especificações exigidas pela conceção e está dependente de uma série de fatores, incluindo a escolha de processos de fabrico, a formação e controlo da mão-de-obra, os modos de controlo de processo, os testes e ações de inspeção que são utilizados, em que medida estes procedimentos são seguidos, bem como a motivação da mão-de-obra para alcançar a qualidade. Montgomery (2009) propõe uma definição de qualidade moderna: A qualidade é inversamente proporcional à variabilidade.

Não há divergência entre a opinião de *American Society for Quality* e a de todos os autores que afirmam que a Qualidade é um termo subjetivo para o qual cada pessoa ou sector tem a sua própria definição. No uso técnico, a qualidade pode ter dois significados: 1) as características de um produto ou serviço que lhe conferem a aptidão de satisfazer as necessidades explícitas ou implícitas, 2) um produto ou serviço livre de deficiências.

2.2.2. As Ferramentas e Técnicas da Qualidade

Com objetivo satisfazer as expectativas dos clientes, as normas ISO recomendem às empresas seguir os seguintes princípios de Gestão de Qualidade: a) Focalização no cliente, b) Liderança; c) Envolvimento das pessoas, d) Abordagem por processos, e) Abordagem da gestão como um sistema, f) Melhoria contínua, g) Abordagem a tomada de decisões baseada em factos; h) Relações mutuamente benéficas com fornecedores.

Os benefícios percebidos com a acreditação ISO incluem: (1) redução dos problemas de qualquer tipo de qualidade através de implementação de práticas de standardização, e (2) acesso a formação quando os colaboradores trocam de função ou abandonam a organização. A normalização pode ser uma ajuda no sentido em que obriga as pessoas a aprenderem umas com as outras e a chegar a um acordo, encontrando uma abordagem única para a realização de determinada tarefa. Por outro lado, as normas ISO impedem que os engenheiros alterem constantemente os desenhos dos produtos ou os processos (Allen 2006).

Na altura em que o predominava Controlo Estatístico da Qualidade, quando a Qualidade ainda se focalizava nos processos, Juran (1999) criou uma “Trilogia” onde se denotam as primeiras tentativas de recomendações para Gestão da Qualidade. Para facilitar a compreensão, o processo de gestão foi separado em três etapas:

- I. O planeamento da qualidade - é um processo estruturado de desenvolvimento de produtos (bens e serviços), que garantem que as necessidades dos clientes serão atendidas pelo resultado final.
- II. O controlo da qualidade - é um processo de gestão universal para a realização de operações de modo a proporcionar estabilidade, evitar uma mudança adversa e "manter o status quo."
- III. Melhoria da qualidade - definir o plano de ação e os papéis a serem envolvidos, incluindo os de alta gerência.

Hoje em dia vive-se a era de TQM – era de Gestão de Qualidade Total com foco no negócio (Anexo 4). De um lado a qualidade é considerada como a resposta de excelência às expectativas dos clientes e o objetivo da gestão é identificar e atender as necessidades dos clientes. Outro conceito da filosofia TQM é o foco na melhoria contínua. A melhoria contínua, designada pelos japoneses por *kaisen*, requer que a empresa se esforce continuamente para ser melhor através da aprendizagem e resolução de problemas. Porque nunca a empresa consegue a perfeição, deve sempre avaliar o desempenho e tomar medidas para melhorá-lo. Há duas abordagens que podem ajudar as empresas com a melhoria contínua (Reid and Sanders 2009):

- **O ciclo PDCA** (é também referido como o ciclo de Shewhart ou de Deming) descreve as atividades que uma empresa precisa executar com o objetivo de integrar a melhoria contínua nas suas operações. A natureza circular deste ciclo significa que a melhoria contínua é um processo que nunca termina.
- **Benchmarking** é outro modo implementar a melhoria contínua através do estudo das melhores práticas de negócios das empresas consideradas como "best in class". A

capacidade de aprender e estudar como os outros fazem os seus negócios é uma parte importante de melhoria contínua, ou seja, com o benchmarking é possível fazer uma comparação das melhores práticas de gestão de várias empresas.

Outra parte da filosofia TQM é a necessidade capacitar todos os funcionários para a identificação de problemas de qualidade e a sua correção/ retificação. De acordo com o antigo conceito de qualidade, os funcionários tinham receio de identificar os problemas com medo de seriam repreendidos. Muitas vezes, a responsabilidade pela má qualidade era atribuída a outra pessoa, a fim de torná-la "problema da outra pessoa." Um novo conceito de qualidade, o TQM, prevê incentivos para os funcionários que identifiquem os problemas de qualidade.

Não existem dois produtos exatamente iguais, uma vez que se verificam sempre pequenas diferenças, por exemplo, ao nível da matéria-prima, mão-de-obra, máquinas, ferramentas, entre outras. As causas da má qualidade podem ser divididas em três categorias básicas (Reid and Sanders 2009; Samohyl 2009):

- Especial - é uma causa assinalável, e em geral é única, no entanto suficientemente grande para produzir perturbações fortes no processo de produção; é um evento que ocorre uma vez ou ocasionalmente, mas em períodos irregulares e, por isso, imprevisível - estas causas têm que ser eliminadas ou, se por alguma razão isso não acontece, a sua influência pode ser reduzida por ações compensatórias da gestão.
- Estrutural - pode ser eliminada e compensada, mas a diferença é que a causa ocorre periodicamente ou em função de outra variável relacionada com a causa identificada; a relação entre a variável e a causa é previsível; quando o período entre ocorrências é relativamente grande, essa causa confunde-se com uma causa especial, mas se o gestor for atento, ele vai acabar por perceber a sua natureza repetitiva.
- Comum - é uma causa relativamente insignificante, mas ocorre com grande regularidade e em grande número, afetando a variabilidade do processo; é o acumular dessas causas num certo período de tempo que leva à existência de uma variável aleatória.

Obviamente, em antecipação surgem algumas questões: Como é possível Identificar e classificar todas as causas de variação de Qualidade? Existem algumas metodologias? Técnicas? Ferramentas? As respostas podem ser encontradas na literatura, bem como recorrendo a um estudo empírico através do estudo dos ramos de atividade das empresas bem-sucedidas que, sem dúvida, as utilizam na prática. No seu trabalho Nancy R. Tague ((2004) em ASQ - American Society for Quality) apresenta Sete ferramentas de Qualidade básicas, muito conhecidas e frequentemente usadas na prática:

1. **Diagrama de causa e efeito** (*Cause-and-effect diagram*): Identifica várias causas possíveis para um efeito ou problema e classifica as ideias em categorias úteis.
2. **Folha de verificação** (*Check sheet*): Uma forma estruturada, preparada para a recolha e análise de dados, é um instrumento genérico, que pode ser adaptado para uma ampla variedade de fins.

3. **Cartas de controlo** (*Control charts*): Estas cartas são utilizadas para estudar como um processo evolui com o tempo.
4. **Diagrama das Frequências** (*Histogram*): O gráfico mais utilizado para mostrar as distribuições de frequência, ou seja, a ocorrência de cada valor diferente num conjunto dos dados.
5. **Diagrama de Pareto** (*Pareto chart*): Mostra num gráfico de barras quais são os fatores mais significativos.
6. **Gráficos de Dispersão** (*Scatter diagram*): Gráfico de pares de dados numéricos, onde uma variável é representada em cada eixo de forma a envontar uma relação entre elas.
7. **Fluxogramas** (*Flowchart*): é um diagrama sistemático que pretende representar de uma forma bastante simples, ordenada e facilmente compreensível as várias fases de qualquer procedimento, processo de fabrico, funcionamento de sistemas ou equipamentos.

Ao longo da revisão da literatura foi observada uma diferença no julgamento de quais são as ferramentas mais apropriadas para evitar problemas de qualidade e não foi encontrada nenhuma concordância entre os académicos nesta questão. No entanto, todos consideram que a escolha das ferramentas e técnicas de gestão de qualidade depende, em certa medida, da fase do processo:

- I. Diagnóstico e preparação,
- II. Gestão e Compromisso - ferramentas de análise de dados, para identificar áreas problemáticas, quantificar os efeitos e priorizar a necessidade de solução.
- III. Melhoria – ferramentas para facilitar o aperfeiçoamento (dos processos e produtos?) da empresa que estão dependentes da compreensão e implementação das outras ferramentas mais básicas mencionadas anteriormente.

Recentemente surge um estudo feito pelo ASQ onde foram agrupadas e descritas as sete novas ferramentas de Melhoria de Qualidade (ASQ - American Society for Quality Abril 2012) que foram reunidas pela primeira vez em 1976 pelo uma União de Cientistas e Engenheiros Japoneses (JUSE) com objetivo promover formas de inovar, comunicar e planear os grandes e complexos projetos. As feramentas apresentadas abaixo estão listadas seguindo uma ordem que parte daquelas que envolvem uma análise abstrata até às que implicam um planeamento mais detalhado:

1. **Diagrama de Afinidades** (*Affinity Diagram*): é uma ferramenta visual que permite ao indivíduo ou uma equipe agrupar um grande número de ideias, questões, observações ou itens em categorias, para posterior análise.
2. **Diagrama de Relações** (*Relations Diagram*): é uma representação gráfica da relação de causa e efeito ou de um determinado resultado, e todos os fatores que influenciam ou contribuem para esse resultado.

3. **Diagrama em Árvore** (*Tree Diagram*): pode ser usado para dividir grandes categorias em níveis mais detalhados e adaptado para uma grande variedade de usos, ajudando a equipa a reconfigurar os pensamentos de um modo geral para uma visão mais detalhada.
4. **Diagrama de Matriz** (*Matrix Diagram*): apresenta a relação entre dois, três ou quatro grupos de informações e pode dar informações sobre o relacionamento, tais como a sua força, os papéis desempenhados por vários indivíduos, ou medições.
5. **Matriz de Prioridades** (*Matrix Data Analysis*): é uma técnica matemática complexa para a análise de matrizes, muitas vezes substituída na lista pela matriz de propriedades similar. Uma das mais rigorosas, cuidadosas e demoradas ferramentas de tomada de decisão que utiliza comparações emparelhadas numa lista de opções a um conjunto de critérios de modo a escolher uma melhor opção.
6. **Diagrama de Atividades** (*Arrow Diagram*): também é conhecido como diagrama de rede, gráfico de atividade, diagrama de nó ou método do caminho crítico e usado para ilustrar a ordem das atividades em um processo ou projeto.
7. **Gráfico de Decisão do Processo** (*Process Decision Program Chart (PDPC)*): fornece uma estrutura para identificar o que pode correr mal e, em seguida, planejar o que fazer quando as coisas erradas acontecem.

Para manter o alto nível de Qualidade e utilizar eficazmente de ferramentas e técnicas, as organizações precisam considerar os seguintes pontos-chave (Bunney and Dale 1997):

- A formação deve ser realizada just-in-time e dada de tal forma que os funcionários possam praticar o que foi ensinado de forma passo-a-passo.
- A formação específica deve ser considerada para as equipas de melhoria.
- Empregar exemplos locais onde os funcionários podem associar com a formação
- Utilizar uma abordagem planeada para a aplicação e utilização de ferramentas e técnicas
- Assegurar a compreensão de Gestão, ou seja, utilização de ferramentas e técnicas na sua própria tomada de decisão e liderança pelo exemplo.
- Não esperar arranjar uma única ferramenta / técnica só para resolver todas as questões
- Nomear os facilitadores estar responsáveis por incentivar o uso de ferramentas e técnicas nos processos rotineiros laborais.
- Não subestimar a resistência às ferramentas gráficas.
- Praticar paciência e persistência.
- Incentivar o maior número possível de pessoas para se envolverem em medir e analisar o desempenho do processo.

2.3. A Estatística para a Qualidade

2013 é o Ano Internacional de Estatística (Statistics2013.org 2013), *Statistics2013*, que tem como objetivos aumentar a consciência pública acerca do poder e o impacto da estatística em todos os aspetos da sociedade, promover a Estatística como profissão, especialmente entre os jovens, e fomentar a criatividade e o desenvolvimento da área da probabilidade e da estatística (UA - Universidade de Aveiro)

2.3.1. O papel da Estatística

Carlos Daniel Paulino, o Presidente de SPE ((2013), em SPE - Sociedade Portuguesa de Estatística and SEAUL - Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa 2013) definiu a Estatística como “uma ciência da recolha, organização, análise, interpretação e transmissão de dados, entendidos como medições ou observações do mundo real, onde impera a incerteza, bem como da realização de predições e tomada de outras decisões - assim, é muito mais do que números em páginas desportivas” e acrescentou que “a ciência estatística tem efeitos poderosos e de longo alcance em todos nós e, no entanto, a maioria das pessoas é que desconhece como ela tem contribuído para melhorar as nossas vidas”.

Embora a Estatística esteja associada ao crescimento e ao avanço tecnológico, a sua utilização é reconhecida desde há muitos anos. A palavra estatística tem origem na palavra em latim status, traduzida como “o estudo do Estado” e significava, originalmente, uma coleção de informação de interesse para o estado sobre a população e economia. Essas informações eram recolhidas com o objetivo de resumir informações indispensáveis para os governantes conhecerem as suas nações e para a construção de programas de governo. No fim do século XVIII, a estatística foi definida como sendo “o estudo quantitativo de certos fenómenos sociais, destinados à informação dos homens de Estado” (Bayer, Bittencourt et al. 2004; Larson and Farber 2010).

De acordo com Levin ((1987), em Bayer, Bittencourt et al. 2004) um investigador emprega a estatística como instrumento de descrição/ decisão quando utiliza os números para quantificar os dados que recolhe. Para Rao ((1999), em Bayer, Bittencourt et al. 2004) a estatística é uma ciência que estuda e pesquisa sobre: o levantamento de dados com a máxima quantidade de informação possível para um dado custo; o processamento de dados para a quantificação da incerteza existente na resposta a um determinado problema; a tomada de decisões sob condições de incerteza com o menor risco possível.

Segundo Montgomery (2009), a estatística é um conjunto de técnicas úteis para a tomada de decisões sobre um processo ou uma população com base na análise da informação contida numa amostra dessa população. Os métodos estatísticos desempenham um papel fundamental no controlo e melhoria de qualidade porque fornecem os principais meios através dos quais um produto é amostrado, testado e avaliado. A informação destes dados pode ser utilizada para controlar e melhorar o processo e/ou o produto. Além disso, a estatística é a linguagem que os engenheiros de desenvolvimento, produção, compras, gestão e outros componentes funcionais dos negócios utilizam para comunicar sobre a qualidade.

De acordo com o estudo do Allen (2006), as empresas aplicam habitualmente os métodos estatísticos na resolução de questões de responsabilidade, bem como devido ao grande volume de itens produzidos, à miniaturização, e customização em massa. A origem destes métodos data pelo menos à invenção do cálculo, em 1700. No início de 1900, os métodos estatísticos desempenharam um papel fundamental na melhoria da produção agrícola no Reino Unido e os EUA, e foram descobertos os novos métodos, incluindo o Fatorial Fracionado e a Análise de Variância (ANOVA), desenvolvidos por Sir Ronald Fisher.

Em 1924, W. Shewhart começou trabalhar nos Laboratórios Bell e como um resultado fundamental da adaptação dos métodos estatísticos à melhoria da qualidade foram propostos os métodos de Controlo Estatístico de Processo (CEP). Shewhart também esclareceu o papel que a variação desempenha na produção, responsável por uma fração de características de uma unidade de um produto que ultrapassam os seus limites de especificação. A implementação das cartas de Shewhart expõem muitos trabalhadores não qualificados aos métodos estatísticos

Em 1948 por iniciativa da UNESCO ocorreu a 1ª mesa redonda sobre o ensino de estatística (Vere-Jones (1995), em Bayer, Bittencourt et al. 2004) e a partir desta data houve um interesse crescente neste assunto por parte das várias comunidades científicas de todo o mundo. No âmbito deste encontro, na década de 1950, a EUA Food and Drug Administration contratou "estatísticos" para verificar a segurança de alimentos e medicamentos, que levou à fundação de Departamentos de Estatística em diversas universidades.

George Box, Genichi Taguchi, e outros investigadores desenvolveram uma técnica estatística nomeada Desenho de Experiências (DOE) com o intuito de ser utilizada no início do processo de conceção de produtos e serviços. Atualmente, é utilizada na análise dos problemas de qualidade e na melhoria contínua do desempenho de qualquer processo produtivo.

Deming colocou uma grande ênfase nos seus "14 Pontos para a Gestão", que incluíam "Eliminar o medo" no local de trabalho. No entanto, alguns gestores e funcionários reconheciam que, de certa forma, o medo era útil. Foi para contrariar esta visão que foi desenvolvido o conceito de Seis Sigma. Além disso, Edward Deming introduziu a filosofia da Qualidade Total (TQM) que enfatizou as ideias de Shewhart e o papel dos dados na tomada de decisão, e continua a aumentar a consciência da indústria relativamente ao valor das técnicas de qualidade, incluindo o Desenho de Experiências (DOE) e o Controlo Estatístico de Processo (CEP).

Controlo Estatístico da Qualidade (CEQ) é o termo surgido mais tarde e usado para descrever o conjunto das ferramentas estatísticas utilizadas pelos profissionais na área de qualidade para analisá-la e identificar as causas da sua variação (LoveToKnow Corporation). Estas podem ser categorizadas da seguinte forma (Reid and Sanders 2009):

1. A Estatística descritiva é usada para descrever as características e relações de qualidade e integra métodos estatísticos, tais como a média, o desvio padrão, o intervalo e uma medida de distribuição de dados, etc.

2. O Controlo Estatístico de Processos (CEP) é uma ferramenta estatística que implica a inspeção de uma amostra aleatória do *output* do processo, de forma a averiguar se as características dos produtos se enquadram dentro do intervalo predeterminado, perceber se o processo funciona adequadamente ou não (Reid and Sanders 2009) e garantir resultados uniformes, alertando para as variações que estão fora dos parâmetros estabelecidos (LoveToKnow Corporation). Neste caso, os métodos mais apropriados para serem utilizados são os seguintes: histogramas, listas de verificação, gráficos de pareto, diagramas de causa e efeito, diagramas de concentração de defeitos, diagramas de dispersão, gráficos de controlo, etc. Walter Shewhart foi o pioneiro da área de Controlo Estatístico de Processos.
3. Amostragem de aceitação (AS) é o processo de inspeção cuidada de uma amostra aleatória dos produtos/serviços, com objetivo tomar uma decisão acerca da aceitação, ou rejeição de um lote (bens, serviços). Baseia-se em planos de amostragem, em resultados representados graficamente através da Curva Característica Operacional (*Operating characteristic (OC) curve*), do plano de inspeção (*Sampling plan*).

Conforme Samohyl (2009), o objetivo primordial do Controlo Estatístico de Qualidade é alcançar processos capazes e estáveis, que valorizam o produto, e não dependem exclusivamente de inspeção para garantir o cumprimento das especificações exigidas.

Hoje, a Estatística está a melhorar a qualidade da vida humana um pouco por todos os continentes: em África, a análise estatística está a reverter o ciclo de pobreza ao melhorar a literacia, na Ásia, a infraestrutura de transportes tem melhorado com base em modelos estatísticos de fluxo humano, na Austrália a Estatística foi crucial na descoberta de casos de dopagem durante os 27^º Jogos Olímpicos em 2000, na América do Norte, a Estatística está a reunir meios que melhoram os tratamentos de deficiências cardíacas, na América do Sul os métodos estatísticos têm sido importantes na identificação de novas variedades de cereais em experiências de reprodução e, por fim, na Europa, a ciência estatística é um instrumento crítico no planeamento de sistemas de reciclagem mais eficientes (SPE - Sociedade Portuguesa de Estatística and SEAUL - Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa 2013).

Neste âmbito foi tomada uma decisão implementar algumas ferramentas Estatísticas na prática para tentar promover a melhoria da qualidade dos produtos obtidos numa empresa de reciclagem dos pneus usados.

2.3.2. Metodologias para a Análise de Dados

Pelo progresso da ciência que exige que se atenda mais profundamente à aquisição, qualidade e tratamento de dados, J. Tuckey introduziu um conjunto de técnicas estatísticas a que chamou “Data Analysis”. Na análise de dados reconhecem-se duas componentes: uma mais próxima da estatística descritiva e outra da estatística indutiva. A estatística descritiva – análise exploratória de dados – pretende isolar as estruturas e padrões mais relevantes e estáveis evidenciados pelo conjunto de dados objeto de estudo. A estatística indutiva (inferencial) – análise confirmatória de dados – pretende avaliar, nomeadamente através da recolha e análise de novas observações, a reprodutividade ou permanência das estruturas e padrões detetados.

Os dados consistem em informações que vêm de observações, contagens, medições ou respostas e conforme a sua natureza podem ser classificados por tipos (qualitativo e quantitativo) e escalas (nominal, ordinal, de intervalo e absoluto).

Qualquer decisão que seja tomada usando os resultados de um estudo estatístico será tão boa quanto o processo utilizado para obtenção desses dados, por isso é muito importante estar familiarizado com o método de planeamento de um estudo estatístico, que obedece às seguintes atividades (Larson and Farber 2010): 1) identificar as variáveis de interesse e a população do estudo; 2) desenvolver um plano detalhado para a recolha de dados; 3) recolher os dados conforme de plano plopосто; 4) descrever os dados usando as técnicas de estatística descritiva; 5) interpretar os dados e retirar conclusões acerca da população, usando estatística inferencial; 6) identificar quaisquer erros possíveis.

a) Estatística descritiva

Larson e Farber (2010) definem a estatística descritiva como o ramo da estatística que envolve a organização, o resumo e a representação de dados. Em continuação, os autores portugueses Guimarães e Cabral (2007) confirmam que o objetivo da estatística descritiva é sintetizar a informação contida num determinado conjunto de dados. Assim sendo, procura-se sintetiza-la e representá-la de uma forma compreensível. Esta tarefa, que adquire maior importância quando o volume de dados é significativo, materializa-se na construção de tabelas, gráficos ou no cálculo de medidas que representem convenientemente a informação contida nos dados.

A maioria dos métodos utilizados para compilação de dados é bastante simples em termos de conceito. Consoante os objetivos, às vezes um método pode ser suficiente para obter um resumo útil e completo, mas na maioria dos casos, dois ou mais métodos são utilizados para atingir a clareza da descrição que é desejada. Existem vários métodos de representação de dados, entre os quais se identificam as distribuições de frequência e histogramas, as características da amostra (média, mediana, moda, variância, desvio padrão e percentis), as medidas de tendência central / local, e as medidas de dispersão.

b) Inferência estatística: Análise de Variância

A estatística inferencial é o ramo da estatística que envolve o uso de uma amostra para retirar conclusão sobre uma população (Larson and Farber 2010). O objetivo da inferência estatística é mais ambicioso do que o da estatística descritiva e, naturalmente, os métodos e técnicas requeridas são mais sofisticados. Com base na análise de um conjunto limitado de dados (uma amostra) pretende-se caracterizar o todo, a partir do qual tais dados foram obtidos (a população) (Guimarães and Cabral 2007).

Os problemas de inferência estatística podem ser subdivididos em estimação e testes de hipóteses. A estimação pode ser pontual (estimador de momentos, método dos mínimos quadrados e o método da máxima verosimilhança) ou por intervalos (para a média populacional quando a variância é conhecida, para a média populacional quando a variância é desconhecida, para a variância populacional e para a proporção), também conhecido como intervalos de confiança. Os testes de hipóteses fornecem um método que permite verificar se os dados amostrais revelam evidências que apoiam ou não uma hipótese formulada (Silva, Wanderley et al. 2010). Aliás, os conceitos fundamentais de inferência estatística permitem construir intervalos de confiança ou testar hipóteses envolvendo um parâmetro de uma população ou, alternativamente, envolvendo a razão ou a diferença entre parâmetros de duas populações (Guimarães and Cabral 2007).

Uma afirmação sobre um parâmetro populacional é denominada por hipótese estatística, que pode ser nula ou alternativa, dependendo da sua representação: quando uma delas for falsa, a outra é verdadeira. Então, quando se realiza um teste de hipótese, chega-se a uma de duas decisões: 1) rejeitar a hipótese nula, ou 2) não rejeitar a hipótese nula. Mas uma decisão pode ser errada se a hipótese nula for rejeitada, quando é verdadeira (erro tipo I), ou se a hipótese nula não for rejeitada, quando é falsa (erro tipo II). Há possibilidade de diminuir a probabilidade de cometer erros diminuindo o nível de significância que pode ser definida em cada problema individualmente. Normalmente são considerados 3 níveis de significância: 0,10, 0,05 e 0,01.

A análise de variância é uma técnica de inferência estatística que possibilita a comparação entre parâmetros de mais do que duas populações (Guimarães and Cabral 2007). A técnica de análise de variância normalmente é designada sinteticamente por ANOVA e resulta da contração do nome que a técnica recebe em inglês: *analysis of variance* e possibilita determinar, com base numa medida dependente, se várias amostras são oriundas de populações com médias iguais (Hair, Anderson et al. 2007) e permite determinar de forma objetiva quais os fatores e/ou interações que afetam significativamente a(s) resposta(s).

Os fatores propostos podem ser de origem qualitativa ou quantitativa, mas a variável dependente deverá ser necessariamente contínua.

Pressupostos para o teste:

- 1 As amostras devem ser independentes entre si.
- 2 As populações devem ter a mesma variância.
- 3 As populações devem seguir uma distribuição Normal.

Hipóteses:

H_0 : Todas as médias populacionais são iguais.

H_1 : Pelo menos uma das médias é diferente.

Se as observações provêm de grupos classificados através de um só factor, fala-se em análise de variância com um factor - *one-way* ANOVA; uma análise de variância com dois factores - *two-way* ANOVA. Por outro lado, diz-se que a análise de variância tem tantos níveis ou efeitos quantos grupos distintos se considerem. Na maior parte das situações, os grupos são determinados na partida; diz-se então que é uma análise de variância com efeitos fixos. Em alternativa, os grupos podem ser retirados aleatoriamente de entre um conjunto alargado de possibilidades. Nesse caso é uma análise de variância com efeitos aleatórios.

c) Estatística Multivariada: Análise fatorial

Hair (2007) considerou uma razão para a dificuldade de definir análise multivariada o facto de o termo “multivariado” não ser utilizado de maneira consistente na literatura. Alguns investigadores utilizam-no simplesmente para designar o estudo das relações entre duas ou mais variáveis. Outros, só o aplicam em problemas nos quais todas as variáveis múltiplas são consideradas como tendo uma distribuição normal multivariada. Segundo Ribeiro (2008, em Silva, Wanderley et al. 2010), para a análise ser considerada multivariada todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas, não permitindo que os seus diferentes efeitos sejam significativamente interpretados de forma separada. O propósito desta análise é medir, explicar e prever o grau de relacionamento entre variáveis estatísticas.

Segundo Bakke (2008), a Estatística Multivariada é uma ferramenta poderosa na análise de dados, pois consiste num conjunto de métodos estatísticos entre os quais: (a) análise fatorial, (b) regressão e correlação múltipla, (c) análise discriminante, (d) análise multivariada de variância e covariância, (e) análise conjunta, (f) correlação canónica, (g) análise de *clusters* que permitem confrontar simultaneamente diversas variáveis de cada elemento amostral. As técnicas de estatística multivariada têm o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenómeno estudado e o seu desenvolvimento tem possibilitado o estudo de fenómenos cada vez mais complexos. Estas podem ser empregues com o intuito de construir índices ou variáveis alternativas e grupos de elementos amostrais, analisar as relações de dependência das variáveis e comparar as populações, trabalho facilitado atualmente pelo avanço tecnológico.

De um modo geral, a análise multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre cada indivíduo ou objeto de investigação. As técnicas utilizadas podem ser divididas em dois grupos: as técnicas de interdependência e as técnicas de dependência.

A análise Fatorial pertence ao grupo das técnicas de interdependência que são empregues, por exemplo, quando há o interesse na inter-relação de muitas variáveis, na existência de aleatoriedade na combinação de categorias de variáveis não métricas ou na determinação de grupos que contenham observações com comportamentos semelhantes em relação a determinadas variáveis (Silva, et al., 2010). A análise fatorial difere das técnicas de dependência

(regressão múltipla, análise discriminante, análise multivariada de variância ou correlação canônica), nas quais uma ou mais variáveis são explicitamente consideradas como as variáveis de critério ou dependentes e todas as outras são as variáveis preditoras ou independentes. Na análise fatorial, as variáveis estatísticas (fatores) são criadas para maximizar o seu poder de explicação do conjunto inteiro de variáveis, e não para prever uma variável (eis) dependente(s) (Hair, Anderson et al. 2007).

Análise fatorial é um nome genérico dado a uma classe de métodos estatísticos multivariados cujo propósito principal é definir a estrutura subjacente a matriz de dados. Em termos gerais, a análise fatorial aborda o problema de analisar a estrutura das inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis, definindo um conjunto de dimensões latentes comuns, chamadas de fatores. O objetivo é encontrar um meio de considerar a informação contida num número de variáveis originais num conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com uma perda mínima de informação. A análise fatorial é uma técnica de interdependência que avalia todas as variáveis simultaneamente, empregando o conceito da variável estatística. No entanto, este conceito não é utilizado para prever uma variável dependente, mas sim para maximizar o poder de explicação de um conjunto de variáveis (Bakke, Moura et al. 2008).

As técnicas analíticas fatoriais podem atingir os seus objetivos de uma perspectiva exploratória ou de uma perspectiva confirmatória. Conforme do Hair (2007), três das limitações mais frequentemente citadas são as seguintes: 1) existem muitas técnicas para a realização de uma análise fatorial e há controvérsia sobre qual técnica é a melhor; 2) os aspetos subjetivos da análise fatorial (ou seja, a decisão de quantos fatores devem ser extraídos, qual técnica deve ser usada para rodar os eixos fatoriais, quais os valores significantes) estão sujeitos a muitas diferenças de opinião; 3) o problema da confiabilidade é real.

Fica aparente que a conclusão bem-sucedida de uma análise multivariada, incluindo uma análise fatorial, envolve mais do que a seleção do método correto. Para ajudar o investigador a aplicar os métodos multivariados, um procedimento, de seis passos pode ser útil e fornece um guião para desenvolver, interpretar e validar qualquer análise multivariada:

- I. Questões relativas à preparação para a estimação do modelo do real:
 - 1) Definição do problema da pesquisa, dos objetivos e da técnica multivariada a ser usada.
 - 2) Desenvolvimento do plano de análise.
 - 3) Avaliação das suposições inerentes à técnica multivariada.
- II. Aspetos pertinentes para a estimação do modelo, interpretação e validação:
 - 4) Estimação do modelo multivariado e avaliação do ajuste geral do modelo.
 - 5) Interpretação da(s) variável (eis) estatística(s).
 - 6) Validação do modelo multivariado.

CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO EMPÍRICO

3.1. Apresentação da RMD – Recuperación Materiales Diversos, S.A.

A *Recuperación Materiales Diversos, S.A.* (RMD) é uma empresa dedicada à reciclagem, recuperação e valorização de diferentes materiais, que deixam de ser resíduos, transformando-se em matéria-prima para novos processos ou produtos industriais ou para uso direto. Com um quadro de compromisso com a Qualidade, o Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, a RMD consegue que o ciclo de vida dos materiais com os quais está a lidar se prolongue contribuindo para uma melhor utilização dos resíduos e o uso mais eficiente de recursos.

A RMD está num processo contínuo de diversificação das suas atividades apoiando-se na otimização dos processos internos e na investigação constante de novas aplicações para os materiais reciclados, tendo como prioridade nos últimos anos a proteção ambiental e a criação de riqueza no meio social. No dia 17 de janeiro de 2011 a RMD fez 20 anos, marcados por uma contínua evolução através da inovação no processo de reciclagem, ocupando um lugar de destaque a nível europeu.

A especialização necessária para levar a cabo as atividades de gestão que abrangem praticamente todos os processos relacionados com todas as etapas da vida dos resíduos, desde recolha, transporte, armazenamento e seleção, até à sua reciclagem e valorização, e a análise de processos para tomada de decisões, exige diferenciação da atividade industrial da RMD em três linhas de negócio: metais, borracha e engenharia. As áreas de negócio em que se encontra a força e a liderança internacional da RMD são:

- 1) Gestão de pneus usados: Os pneus usados (NFU), dependendo do seu estado, são destinados para reutilização (revenda), recauchutagem (NUR) ou reciclagem com fins de obter granulado de borracha de granulometria diversa e alguns subprodutos.

Pneus para reutilização: Seleção e revenda dos pneus usados. Nos pontos de recolha os funcionários verificam e classificam os pneus em categorias diferentes: câmaras, turismo, agricultura, camiões ou industrial. Atualmente, o volume de negócios nesta área supera as 60 mil toneladas por ano de pneus em todas as categorias, com a tendência de aumentar de ano por ano.

Reciclagem de Pneus: O pneu transforma-se em aço, granulado de borracha ou material têxtil; este negócio foi criado em 1997.

- 2) Reciclagem de Metais.

Reciclagem de cabos de Cobre e Alumínio: Deste processo resulta um granulado de pureza elevada. Esta área de negócio é tradicional na RMD uma vez que esteve na sua origem, quando esta foi criada em 1991. A partir de sucata dos cabos elétricos e de telecomunicações, procedentes de desmontagem e resíduos de produção, obtêm-se os produtos finais (grânulos metálicos e poliméricos) que são utilizados como matéria-prima para os processos de produção de seus principais clientes.

Reciclagem de perfis de Alumínio: Alumínio reciclado recupera-se para a fundição subsequente. Esta linha de negócio trata os resíduos de perfis de alumínio, a partir de desmontagem e demolição de construções, para obter os produtos limpos para os clientes que, na sua maioria, se dedicam à fundição.

Mercadorias: Recolha e classificação dos diferentes tipos de produtos metálicos para revenda direta, geralmente para exportação, e outros materiais que não passam pelo processo de produção de moagem.

Equipamentos elétricos e eletrônicos (RAEE's): Uma alternativa para o comércio tradicional que permita à RMD retirar do mercado equipamentos elétricos e eletrônicos que não podem ser reutilizados. Resíduos obtidos a partir deste processo devem ser reciclados em outras linhas de negócio e os resíduos perigosos devem ser enviados para agentes autorizados.

- 3) Construção de máquinas de reciclagem e engenharia de processos de produção.
- 4) I&D nas três áreas acima definidas: Além de colaboração ativa em projetos de I&D com Centros Tecnológicos, a RMD está equipada para esta finalidade com recursos materiais e com instalações próprias de I&D e Qualidade: 1) a RMD tem os laboratórios que lhe permitem analisar, avaliar, controlar e monitorizar a qualidade dos materiais recuperados; 2) Além disso, desenvolveu uma linha piloto para efetuar investigação relativa ao processo de micronização e classificação de materiais plásticos termoelestableis e elastómeros vulcanizados.

Estas linhas de negócios permitem à RMD eliminar resíduos prejudiciais ao Meio Ambiente, valorizar e utilizá-los novamente como matéria-prima que poderá ser utilizada na produção de novos produtos, com um controlo absoluto dos riscos ambientais. Esta especialização e uma trajetória de evolução constante confere à RMD uma posição de liderança global no setor e classifica-a como um negócio essencial no desenvolvimento sustentável da sociedade.

A política da RMD está enquadrada no compromisso de oferecer soluções que harmonizam o desenvolvimento tecnológico e o respeito pelo Meio Ambiente. Neste sentido, a RMD compromete-se a:

- Promover o respeito por todos os recursos naturais, melhorar as condições de forma ativa e contínua para um ambiente limpo, para a satisfação dos clientes e utilizadores dos seus produtos, funcionários e as comunidades em que estão inseridos.
- Oferecer os produtos e sistemas para garantir a eficácia e segurança, conservação de recursos naturais e energia.
- Considerar a proteção ambiental uma parte integrante da cultura organizacional, uma preocupação presente em todas as suas atividades.
- Manter devidamente informados os seus clientes, fornecedores e empregados.
- Cumprir as regulamentações existentes para todas as suas atividades e, se aconselhável, ir mais longe, sempre em benefício do Meio Ambiente e da sociedade.

3.2. Sistema de Gestão de Qualidade na RMD

O compromisso da RMD é contribuir para o Desenvolvimento Sustentável, envolvendo neste compromisso todos os seus stakeholders: funcionários, fornecedores, clientes, acionistas e sociedade em geral. A Política da Qualidade da RMD é baseada em cinco princípios básicos, cada um dos quais subdivididos num conjunto de objetivos (RMD - Recuperación Materiales Diversos S.A.):

- I. **QUALIDADE:** o argumento da RMD é o mais convincente
 - Obter um produto/serviço mais homogéneo e uniforme, de modo a satisfazer as expectativas dos clientes e manter-se competitiva.
 - Garantir a qualidade do produto/serviço através do cumprimento de um conjunto de requisitos e o compromisso com a melhoria contínua da eficácia do sistema de gestão.
 - Estar em disposição adequada para certificações para a empresa através das auditorias realizadas.
- II. **O CLIENTE:** uma razão de ser
 - Conseguir a satisfação dos clientes garantindo a compreensão e a resposta às suas necessidades.
 - Alcançar a sua fidelidade baseando-se na qualidade comprovada dos seus produtos/serviços.
 - Ligar todas as atividades para conseguir a satisfação dos clientes, como forma de garantir o futuro da empresa.
- III. **O FORNECEDOR:** parte da organização
 - Transmitir aos fornecedores a experiência e conhecimento da empresa.
 - Envolvê-los no sistema de qualidade da empresa.
 - Integrá-los na organização para aumentar a sua lealdade.
 - Atrair novos fornecedores e parceiros através da melhoria da imagem da empresa.
- IV. **EQUIPA:** parte essencial de uma engrenagem
 - Sensibilizar e motivar a equipa usando a qualidade como uma ferramenta de melhoria contínua.
 - Promover a formação contínua e reciclagem de competências.
 - Promover trabalho bem feito, como autocontrolo e Qualidade Total.
 - Incutir nos funcionários a necessidade de identificar e corrigir na hora qualquer não conformidade, documentá-la e divulgá-la internamente.
 - Melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores.
- V. **ECOSSISTEMA:** parte da filosofia
 - Preservar o Meio Ambiente como único espaço de vida faz parte do trabalho diário.
 - Garantir a qualidade do trabalho realizado, com o cumprimento dos regulamentos ambientais em vigor.
 - Divulgar o contributo da RMD para a preservação do Meio Ambiente e os seus benefícios, informar sobre os estudos em curso para a conservação e o cuidado com a melhoria do ecossistema no futuro.

- Sensibilizar, motivar e ensinar a toda a organização a importância de preservar e cuidar o ambiente, trabalhar para que esta filosofia seja divulgada no meio em que a RMD se insere, e, ao mesmo tempo, que seja uma prática comum ao longo da vida.

Neste âmbito, a RMD elaborou a Política Integrada de Desenvolvimento Sustentável, que combina a Gestão de Qualidade, a Gestão Ambiental e a Gestão Social, de acordo com os princípios que respeitam os requisitos de ISO 9001 e ISO 14001. Além disso, a RMD amplia o seu compromisso com o Meio Ambiente, reduzindo as emissões de CO₂, considerando que a melhor forma de combater essas emissões é evitá-las desde o início. Assim, está certificada com a UNE EN ISO 14064-1 Gases Efeito de Estufa, tendo neste âmbito, elaborado o Relatório de Emissões de CO₂. A Gestão de Qualidade na RMD efetua-se de acordo com as normas ISO 9001 para as quais a empresa está certificada.

De acordo com esta política, a RMD tem obrigações para com a sociedade através da Qualidade dos produtos que fornece, e neste âmbito tem um sistema de controlo de não conformidades, com designação de responsabilidades, consoante o tipo de incumprimento:

- 1) As não conformidades externas (incumprimento de um requisito do cliente e/ou fornecedor) são controladas pelos departamentos de Qualidade, Produção e Comercial e prevêem-se os sistemas de reclamações, retornos e multas como meios para a manutenção do nível apropriado de qualidade.
- 2) As não conformidades internas (NC, incumprimento de um requisito interno do sistema de gestão de qualidade e meio ambiental) classificam-se da seguinte forma: comercial, de seleção, de carga, administrativa, das análises, da segurança de trabalho, no meio ambiente, e estão controladas pelos departamentos de Qualidade, Comercial e Produção.
- 3) As não conformidades detetadas tanto em auditorias internas, como externas na RMD são classificadas como: 1) maiores - incumprimento de um requisito normativo ou legal que não permite a recomendação de certificação ou sua renovação, ou 2) menores - desvios mínimos em relação aos requisitos regulamentais que possibilitam a recomendação de certificação ou renovação.
- 4) Os acidentes externos e internos - desvios em relação de Qualidade e/ou Ambiente, que não têm peso para chegarem a ser não conformidades ou porque conseguiram ser resolvidos internamente, às vezes requerem ações corretivas e são controlados por parte das Direções de cada departamento.
- 5) Outros desvios que não pertencem a nenhuma categoria das acima referidas - resultados negativos de análises, revisões, inspeções, relatórios, controlo operacional, novos requisitos legais ou normativos, etc., que não se documentam como não conformidades, também estão sob controlo das Direções de cada departamento.

A Política de Qualidade na RMD está orientada para a resolução de todos os problemas de não conformidades ou acidentes, como também para a eliminação definitiva e prevenção das causas destas ocorrências o mais rápido possível. Isto é possível porque o sistema de Gestão de Qualidade atual tem como foco a melhoria contínua dos processos.

3.3. Linha tecnológica de reciclagem dos pneus na RMD

Pela sua forma particular, que obedece exclusivamente à sua função, o pneu é um elemento que possui um volume muito elevado em relação ao seu peso, o que dificulta em grande medida tanto o seu armazenamento como o transporte. O método mais comum e eficaz consiste na trituração, com o objetivo de reduzir simplesmente o volume específico de pneus para facilitar o armazenamento, ou para a obtenção de novas matérias-primas, depois de granulados e separados nos seus componentes principais constitutivos, tais como: borracha, aço e fibras têxteis.

Através dos processos primários: Trituração (Figura 2) – Pré-Granulação e Granulação (Figura 3), a RMD produz os grânulos de borracha com tamanhos diferentes (Anexo 6): 0,6-2,0; 0,8-2,5; 1,0-3,5; 2,0-7,0; 16,0-25,0; 8,0-20,0 dependendo dos requisitos dos clientes e das finalidades a que se destinam. Em função do seu destino, este produto pode ser comercializado diretamente, como matéria-prima para o fabrico de outros subprodutos, tais como pó de borracha através de etapas posteriores de micronização, ou pode ser reprocessado até adaptá-lo às novas granulometrias, por exigências da procura, ou utilizado nos processos avançados.

Aos processos avançados da RMD pertencem as seguintes atividades: pintura da borracha antecipadamente produzida e composição dos sistemas para os pavimentos à base desta borracha, criação das figuras decorativas e vasos de jardim feitos de borracha reciclada para parques infantis e jardins, criação dos elementos para equipamentos urbanos (Anexo 6).

A RMD oferece uma tecnologia necessária para executar cada processo de forma eficiente.

3.3.1. Descrição do processo tecnológico: Processos primários

Um processamento correto de pneus fora de uso para recuperação integral dos seus componentes exige uma trituração por etapas até às granulometrias requeridas, fazendo notar que durante do processo é importante realizar extrações intermédias com o objetivo de retirar toda a quantidade possível de aço como de têxtil gerados. De qualquer maneira, existem diferenças notórias entre ambos os subprodutos no momento adequado para separá-los, o granulado de borracha. Quando se requerem altas produções é necessário dispor na instalação do processo tecnológico do número conveniente de moinhos, tanto trituradores como granuladores, uma vez que desta maneira se reduz consideravelmente o salto granulométrico de produto a processar entre uma etapa de trituração e a seguinte.

A linha tecnológica da RMD é baseada principalmente no uso de um moinho-triturador primário “*Shredder*”, que é encarregado de cortar e lacerar os pneus introduzidos a uma granulometria adequada, que anda à volta, nesta primeira fase, entre os 80 e os 150 mm.

Os separadores antiférricos do tipo *over-band* são utilizados para separação magnética do aço, livre dos restantes produtos processados. Uma separação preliminar deste aço reduz ligeiramente o peso da matéria processada, evita a presença de arames soltos durante a manipulação e

armazenamento de carga, sempre incômodos e perigosos, e o que é mais importante, reduz os esforços de corte sobre outras máquinas em etapas posteriores de processo tecnológico, aumentando a vida útil das últimas e incrementando a pureza do produto final.

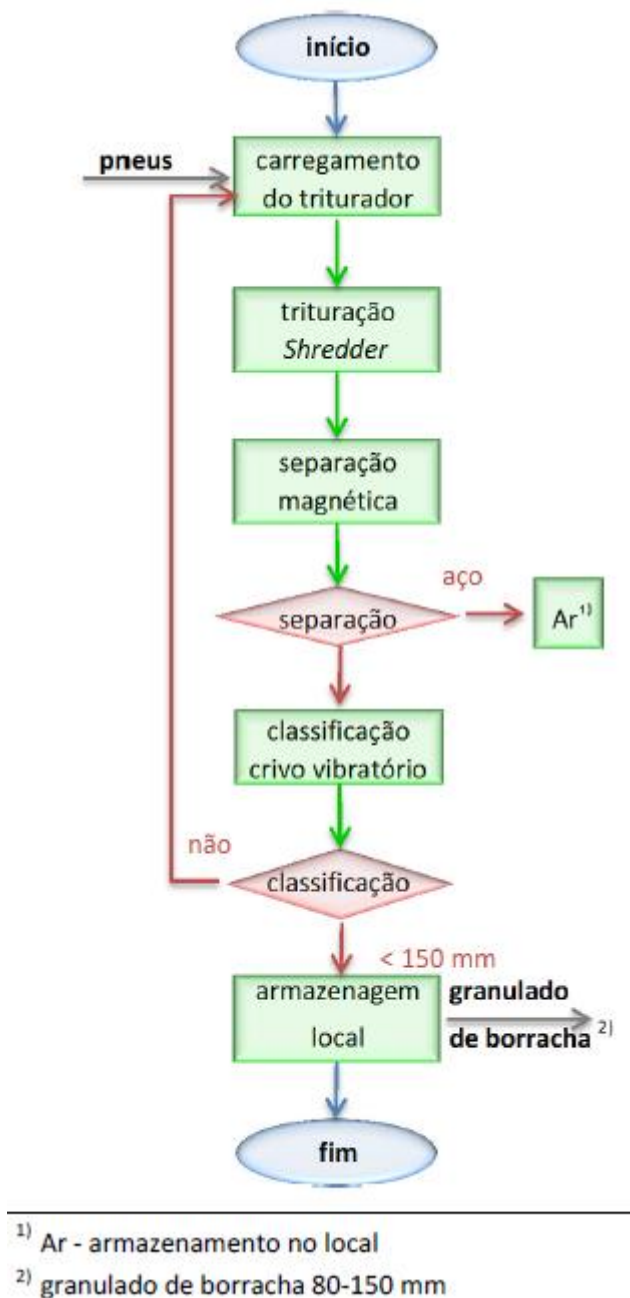
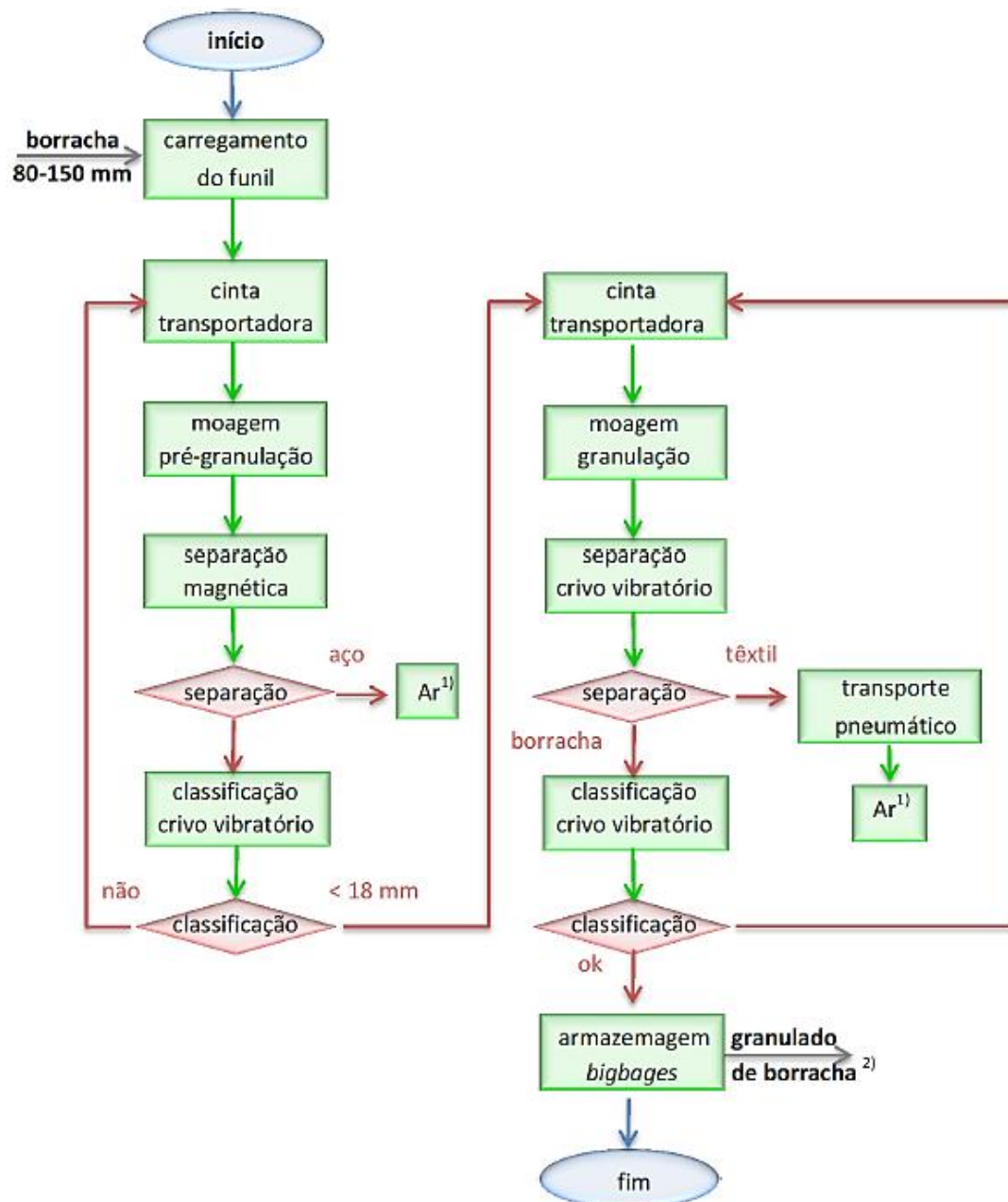


Figura 2 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Trituração

Após a sua trituração prévia, os fragmentos de pneus não são embalados, mas armazenados em campos exteriores ou carregados diretamente para os recipientes de transporte.

Um moinho que é forçado a trabalhar com um alto salto granulométrico (diferença entre o tamanho de partícula que entra em relação ao que sai) não só trabalha permanentemente sobrecarregado, como a sua capacidade de corte e durabilidade decrescerão.

Pode-se observar que entre duas etapas consecutivas de trituração sempre existe uma separação magnética de aço libertado, exceto depois da primeira etapa de trituração, na qual a quantidade de aço libertado é insignificante e uma separação prematura seria prejudicial por retirar uma grande quantidade de borracha agarrada ao aço.



¹⁾ Ar - armazenamento no local

²⁾ granulado de borracha depende dos requisitos dos clientes

Figura 3 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Pré-granulação e Granulação

Em todas as instalações de reciclagem, independentemente da sua forma ou necessidade de produção, existe uma necessidade de transportar internamente o produto entre as várias etapas do processo, incluindo de uma máquina para a outra. Este transporte realiza-se com maquinaria auxiliar tal como cintas transportadoras (quando se requerem os transportes horizontais) ou sistemas pneumáticos para o transporte de produtos poeirentos ou granulados em grandes distâncias.

Quando se procede à granulação, os pneus triturados são introduzidos num funil doseador, situado no início da linha de processo, que se encarrega de regular o fluxo de alimentação ao resto da linha para que trabalhe em condições ótimas. Nesta fase, moinhos chamados “granuladores de alta velocidade” são encarregados de reduzir progressivamente o tamanho dos troços de borracha até conseguir um tamanho comercial adequado, extraíndo no decorrer do processo o aço livre.

No final da granulação é conveniente retirar, com recurso a um separador magnético de alta intensidade, qualquer traço de aço residual que possa ter escapado a separações anteriores, o que garante que a qualidade de borracha obtida seja ótima.

À medida que as fibras têxteis são libertadas por trituração tendem a formar massas compactas. Aproveitando esta propriedade, separa-se todo o têxtil com um teor de borracha muito baixo, o que o torna adequado para outros tipos de uso, reduzindo as perdas de borracha no fim do processo.

A etapa final do processo de reciclagem dos pneus consiste na classificação de granulado de borracha por granulometrias, o que finalmente determina a utilização do produto acabado e depende diretamente das necessidades dos clientes. Este processo realiza-se habitualmente com os crivos vibratórios de diversas malhas granulométricas, depois dos quais o produto está pronto a ser embalado.

3.3.2. Controlo da Qualidade: Processos primários

A Qualidade do produto final depende do funcionamento da linha (Anexo 5).

As lâminas de um triturador são um componente principal para esta tecnologia. Com as lâminas desgastadas o triturador não é capaz de triturar material, provocando o sobreaquecimento e a seguir a desvulcanização do mesmo. Isto significa a perda completa de qualidade do produto final, tal como perda de rendimento da máquina em caso de configuração incorreta da posição das lâminas para cada tipo de máquina. A temperatura de processo é o segundo factor mais importante devido à sensibilidade do polímero a temperaturas altas – o polímero de pneu não a suporta e degrada ficando desvulcanizado ou carbonizado, o que pode provocar incêndios.

A cinta transportadora deve ter uma velocidade adequada à capacidade de triturar de um moinho: isto porque uma alta velocidade da cinta gera uma grande quantidade de desperdícios de material que necessitam de ser tratados, sobrecarrega o moinho, o que provoca as avarias e desgaste do mesmo; uma velocidade baixa pode provocar a sobrecarga do transportador e aumentar o desgaste de peças móveis, o que implica a troca frequente das mesmas. A eficácia do transporte pneumático determina-se genericamente pela potência aplicada em relação aos diâmetros da tubagem. Ou seja, alta potência significa perdas económicas pouco razoáveis; pelo contrário, uma potência baixa provoca a acumulação de material transportado dentro de tubagem, o que resulta em entupimento e paragem da linha de produção.

A eficácia da separação de aço solto de material pré-triturado depende da distância do íman da cinta transportadora e deve ser adequada a qualquer situação na linha de produção. Com a distância grande entre o íman e a cinta transportadora, o aço solto passa para às máquinas seguintes, baixa o rendimento delas provocando as avarias graves de equipamento e a contaminação de produto final. Com a distância pequena entre o íman e a cinta transportadora cria-se uma quantidade muito alta de material desperdiçado, o que diminui a eficácia da linha produtiva e o aumento de resíduos industriais não desejáveis.

A cinta transportadora, além de ter uma velocidade adequada à capacidade de triturar de um moinho, deve ter uma velocidade adequada à capacidade de limpeza magnética de material transferido: com a velocidade baixa cria-se uma camada de material demasiado grossa o que impossibilita a limpeza magnética – o campo magnético não tem força para levantar os arames de aço que se encontram debaixo do material. Caso contrário, com a velocidade alta, o aço indesejável passa a zona limitada pelo campo magnético demasiado rápido e não é atraído por ele. Também a velocidade alta da cinta transportadora vai provocar a sobrecarga do moinho, o que por sua vez acabará por provocar avarias graves na linha de produção.

A classificação por crivos vibratórios depende de 3 fatores principais: amplitude de vibração, dimensão de crivo vibratório e limpeza da superfície vibrante. Uma alta amplitude de vibração em conjunto com a elasticidade de material provoca o ressalto de partículas, o que leva ao desperdício de muito material, diminuindo a eficácia de processo. Com uma baixa amplitude de vibração ou limpeza não suficiente do crivo, a superfície de crivagem fica entupida com as partículas de material impossibilitando o processo de classificação.

A embalagem com capacidade insuficiente implica a sobrecarga do transporte interno (empilhadores) e o aumento desnecessário da área de armazenamento e como consequência, perdas pouco razoáveis, a ultrapassagem da capacidade dos *bigbags* aumenta o risco de rompimento no acto de carga ou movimento interno.

O local de armazenamento do produto acabado deve ser coberto devido às condições climáticas que provocam a agregação das partículas e degradação de material em *bigbags*, uma vez implica a perda de qualidade de produto final.

3.3.3. Controlo de Qualidade: Processos avançados

Neste processo tecnológico também existem variáveis que devem ser controladas (Anexo 5) a fim garantir a Qualidade do produto fornecido ao cliente, alguns dos quais são: velocidade do rotor e os tempos de pintura e secagem, qualidade e quantidade da tinta, qualidade dos moldes, etc. Segue-se uma descrição dos pontos mais críticos do processo tecnológico e as consequências que poderão advir da má utilização dos equipamentos.

A alta velocidade do rotor de tambor cria uma força centrífuga que empurra o material para as paredes do tambor impedindo a mistura e cruzamento entre material e impossibilitando a distribuição de tinta entre as partículas. Uma baixa velocidade não cria os movimentos necessários entre as partículas, o que também impossibilita a distribuição de tinta.

Devido à grande quantidade de granulado e relativamente pequena quantidade de tinta é necessário o tempo adequado para cobrir cada granulado com tinta. Pouco tempo de mistura não permitirá obter o granulado devidamente (homogeneamente) pintado, enquanto demasiado tempo provoca a secagem voluntária de tinta e a sua decapagem do granulado.

A temperatura da tinta não deve ser inferior a 25°C devido ao aumento da viscosidade que temperaturas mais altas provocam, impossibilitando a mistura e reacção química com o catalisador em secagem. A qualidade e quantidade da tinta é um factor determinante no processo de pintura do granulado. Assim, uma baixa qualidade provoca a reacção lenta com o catalisador, um fraco poder de cobrimento de granulado, a degradação de cor e o desgaste rápido depois de ser aplicada no sítio. A quantidade baixa de tinta implica a heterogeneidade de cobrimento do granulado, enquanto o excesso dela cria uma camada demasiado grossa, que por sua vez quebra o processo de secagem, tal como a pulverização de catalisador não é uniforme.

Velocidade alta ou demasiado lenta de rotor de tambor em ato de catalisação não permite a distribuição homogénea do catalisador e, como consequência, a tinta de alguma parte do granulado não fica curada. A Temperatura baixa do processo impede-o devido à desativação de processos químicos, enquanto a temperatura alta acelera os grãos de maneira que deixam de ser controláveis.

A qualidade dos moldes é um factor primordial no processo de fabrico de figuras. A superfície rugosa impeora o aspeto visual da figura, aumenta a adesão com a cola, o que de seguida dificulta a desmontagem das partes do molde. O encaixe incompleto produz defeitos que necessitam de ser tratado, o que implica as perdas não desejáveis. As figuras na sua maioria são peças maciças, a

qualidade e quantidade de cola deve ser a correta para este tipo de processo: baixa qualidade e quantidade de cola provoca a aglomeração não uniforme de granulado, incumprimento dos requisitos técnicos, baixa resistência física, enquanto que uma alta quantidade e qualidade significam perdas não desejáveis e piora o aspeto visual.

3.3.4. Controlo da Qualidade: Produto final

Durante o processo tecnológico, os operários das máquinas devem garantir o cumprimento normas necessários.

Para o Controlo contínuo da Qualidade do produto final, particularmente do granulado de borracha, os responsáveis do Departamento de Qualidade efetuam diariamente a recolha das amostras (para isso é necessária utilização de equipamento de proteção individual) para a subsequente realização de uma análise e, dependendo do tipo de material e da forma de armazenamento, as amostras podem ser retiradas de:

- Uma montanha: a montanha divide-se em 10 quadrantes e tomam-se 10 subamostras de maneira aleatória e representativa de cada quadrante, distribuídas ao longo de toda a área da montanha, da seguinte maneira: 5 subamostras superficiais e 5 subamostras em profundidade; o total da amostra é uma mistura das 10 subamostras.
- Um *bigbag*: utilizando a lança, tomam-se 2 subamostras de maneira aleatória e representativa da seguinte maneira: uma desde a superfície do bigbag em diagonal até abaixo e à esquerda e outra desde a superfície do bigbag em diagonal até abaixo e à direita; o total da amostra é uma mistura das 2 subamostras.

Para avaliar o produto, os responsáveis do Departamento de Qualidade realizam uma análise da presença de têxtil no produto final: para isso tomam-se 300g da amostra do *bigbag* e introduz-se dentro de um tamizador, há que trabalhar com uma amplitude alta e uma frequência baixa, durante 15 minutos. Este procedimento repete-se 3 vezes com a mesma amostra, retirando em cada uma das vezes o têxtil que foi extraído da amostra. Finalmente pesa-se o têxtil extraído e a borracha da amostra sujeita às análises. Depois se mede a granulometria com um tamizador tipo Restch, tendo em conta o tamanho requerido da grelha: 8, 4 ou 3 mm com a amostra.

No final dos processos avançados e quando o produto já está acabado, devem ser retiradas as amostras (no caso da pintura do granulado em procedimento igual ao da linha primária, as figuras escolhem-se aleatoriamente) e analisadas visualmente no laboratório RMD.

3.4. Linha piloto de reciclagem dos pneus: Micronização

3.4.1. Características principais do MAR

O MAR (*Micronized Activated Rubber*) é um produto novo desenvolvido pela RMD. Além de oferecer um tamanho de partícula constante e de escala microscópica, o processo modifica estruturalmente o grão de borracha, dando-lhe uma superfície específica e um grau de desvulcanização ideal, a que chamamos pó ativo de borracha.

Esta modificação estrutural consiste no aumento de área de superfície do granulado, criando um grande número de centros reacionais, expostos radicais livres, que reagem com os componentes da mistura.

Isso permite incorporar o MAR em misturas de borracha existentes sem a necessidade de variar a formulação, reduzindo a entalpia de ativação e aumentando a coesão e dispersão das partículas do elastômero dentro da mistura de borracha. Assim consegue-se a melhoria das propriedades físicas dos produtos resultantes, para além do benefício ambiental.

Usando MAR conseguem-se, entre outras, as seguintes vantagens:

- Possibilidade de uso de MAR em percentagens altas nas misturas de borracha sem a diminuição das propriedades físicas.
- Poupança de custos de produção em relação à utilização de matérias-primas.
- Melhoria das propriedades de produtos resultantes, tais como o amortecimento de vibrações e sons, resistência à abrasão, flexibilidade, absorção de calor, resistência à fadiga, entre outros.

Devido à morfologia do micronizado e a sua superfície específica consegue-se uma maior área de contacto com a mistura de matriz que permite o aumento de quantidade de ligações químicas.

Devido às características extraordinárias de MAR da RMD anteriormente expostas, os tipos de utilização deste produto são muito variáveis, não sendo necessárias modificações na formulação da mistura ou no processo produtivo dos clientes.

Estas características permitem, conforme o tipo de peça ou produto, introduzir o MAR em proporções de peso em relação ao polímero existente entre 25 e 150 partes de peso com resultados excelentes. Isso proporciona benefícios financeiros que são proporcionais à percentagem de MAR incorporado na mistura de borracha.

O MAR é usado com sucesso industrial em aplicações distintas:

1. Indústria de automóvel (Pneus, tanto em carcaça como em banda protetora; Suportes e componentes para os sistemas de amortecimento e escape; Conduas de arrefecimento e aquecimento; Perfis e juntas de borracha; Isolamento de carroçaria; Aditivo para peças de plástico e termoplástico; Isolamento acústico e de vibração; Peças de borracha produzidas por extrusão e injeção);
2. Indústria de borracha e peças técnicas (Correias; Juntas tóricas e outros tipos de juntas; Revestimento de rolos e peças mecânicas; Perfis de borracha; Cintas transportadoras;

Conduitas de água e outras peças para eletrodomésticos; Isolamento elétrico para salas de transformadores e maquinaria em geral; Mangueiras);

3. Construção (Revestimento betuminoso para telhados como barreira térmica e isolamento contra água; Camadas de isolamento, tanto acústico como de vibração; Isolamento elétrico; Pisos plásticos e de borracha; Aditivo para revestimento polimérico de estacionamentos, oficinas mecânicas, industriais);
4. Outras aplicações (Indústria de calçado; Agarro para os equipamentos desportivos; Aditivo para misturas betuminosas).

3.4.2. Descrição do processo tecnológico

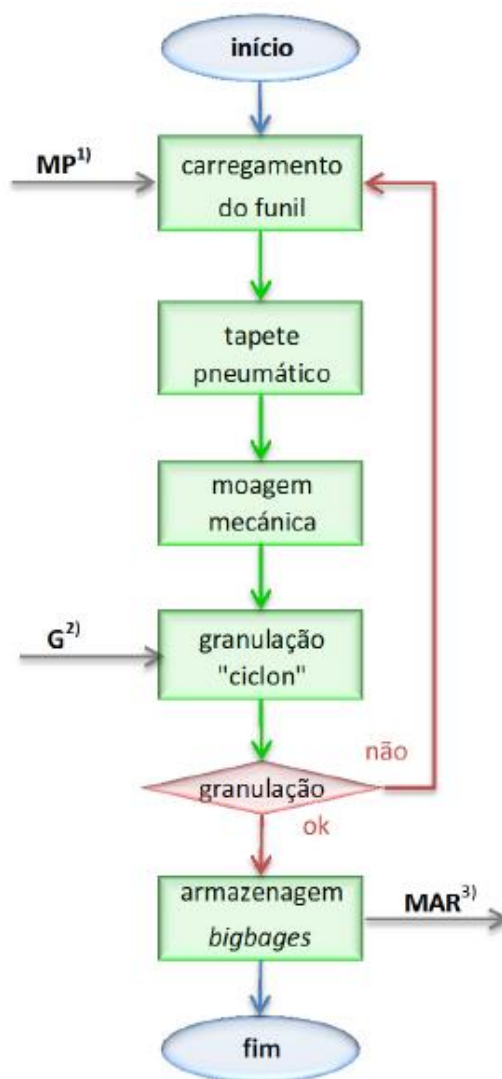
O processo de Micronização (Figura 4) inicia-se com a seleção prévia de material. A matéria-prima utilizada no processo é diversa, dependendo ao seu uso final ou pedido de cliente: pode ser constituída por material de pneus usados (ligeiros, pesados ou industriais), borracha natural ou rejeições de fabrico de um cliente. O material selecionado deve ser homogéneo em termos de composição química e completamente limpo e isento de contaminações, tais como: metais, fibras de têxtil, e objetos estranhos.

Uma vez selecionado, o material passa para a linha de trituração e granulação (processo primário) onde se reduz gradualmente o seu tamanho até 5 mm – tamanho adequado para o processo. Depois de ser granulado, o material passa a ser armazenado em *bigbages* de 1000 kg em lugar coberto o que permite evitar a contaminação. Depois o material é transportado do lugar de armazenamento (com transporte interno) para a secção de micronização e colocado no alimentador. Daí, o granulado é transportado por um tapete até ao micronizador, passando por um ímã que retira o aço existente na mistura e que é considerado lixo.

O micronizador é uma máquina constituída por dois discos cuja construção e condições de trabalho não podem ser divulgadas devido ao processo de patenteação em curso. A máquina funciona por um método de micro *cracking* em alta velocidade. O processo é apenas mecânico, sem nenhuma substância ser adicionada. O processo é controlado por temperatura dentro de micronizador, velocidade de alimentação, intensidade/potência do motor.

Uma vez processado o material através de transporte pneumático passa por um crivo vibratório onde é separado à granulometria estabelecida e, posteriormente, é armazenado em *bigbages*.

A qualidade do MAR (Anexo 5) obviamente está dependente do processo tecnológico de Micronização, embora a qualidade de material dos discos tenha um papel fundamental: só há poucos tipos de material que permitem o processo de Micronização e ativação de borracha e o uso do material inadequado impossibilita o processo. O principal problema do processo tecnológico é a temperatura do material que obviamente depende da temperatura dos discos: uma temperatura alta desvulcaniza ou carboniza o material, enquanto que uma temperatura baixa não permite ativar o micronizado – a temperatura correta do processo consegue-se através da escolha correta do material dos discos, da qualidade de trabalho das superfícies dos discos e da velocidade.



¹⁾ **MP** - matéria-prima que pode ser do tipo 1, 2 ou 3 (consoante o fornecedor)

²⁾ **G** - crivo que pode ser de tamanho 1 ou 2

³⁾ **MAR** - recolha das amostras **MP1G1**, **MP1G2**, **MP2G1**, **MP2G2**, **MP3G1**, **MP3G2** para o processo laboratorial

Figura 4 – Fluxograma dos processos tecnológicos: Micronização

Consoante a *Matéria-prima* usada (**MP1**, **MP2**, **MP3**) e a *Granulometria* (**G1**=0,5mm ou **G2**=0,65mm) são obtidos diferentes tipos de **MAR**: **MP1G1**, **MP1G2**, **MP2G1**, **MP2G2**, **MP3G1**, **MP3G2** (Figura 4), armazenados separadamente.

Periodicamente, são retiradas de cada um dos tipos de **MAR** referidos, amostras para serem objeto de reações químicas com Misturas-Base e posterior medição das características físicas do produto final. Este processo é descrito na secção seguinte.

3.4.3. Descrição do processo laboratorial

As amostras feitas no laboratório têm como objetivo medir as características físicas: *a Dureza, a Tensão de Rutura, o Alongamento de Rutura e a Resistência ao Rasgo*, de uma Mistura-Base à qual foi adicionado o MAR, sendo esta mistura alvo de vulcanização, tal como é ilustrado na Figura 6. A amostra a ensaiar é uma Mistura-Base (MB1 ou MB2) com carga de MAR.

O processo esquematizado na Figura 6 é feito para cada combinação de *Matéria-prima* e *Granulometria* representando, portanto, 24 tipos de produtos: três Matérias-primas, duas Granulometrias, quatro Composições (Figura 5).

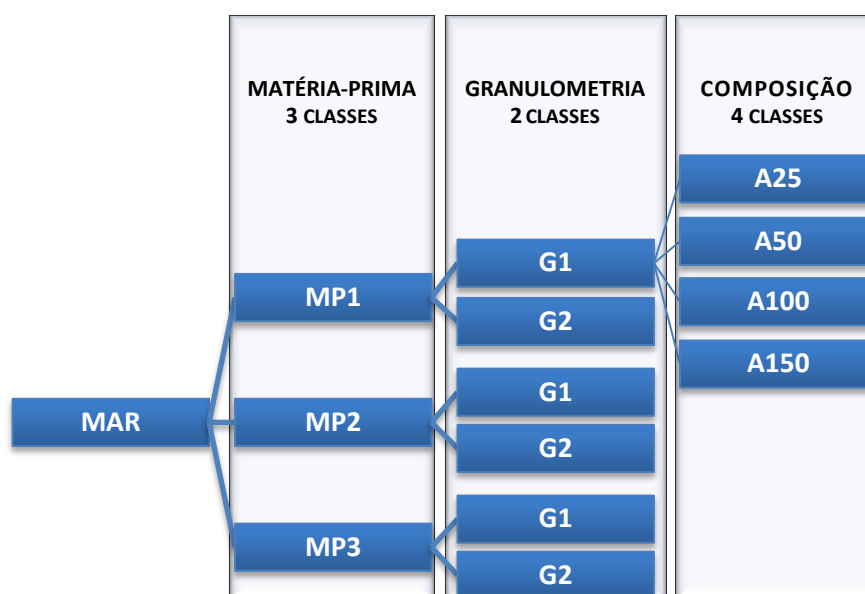
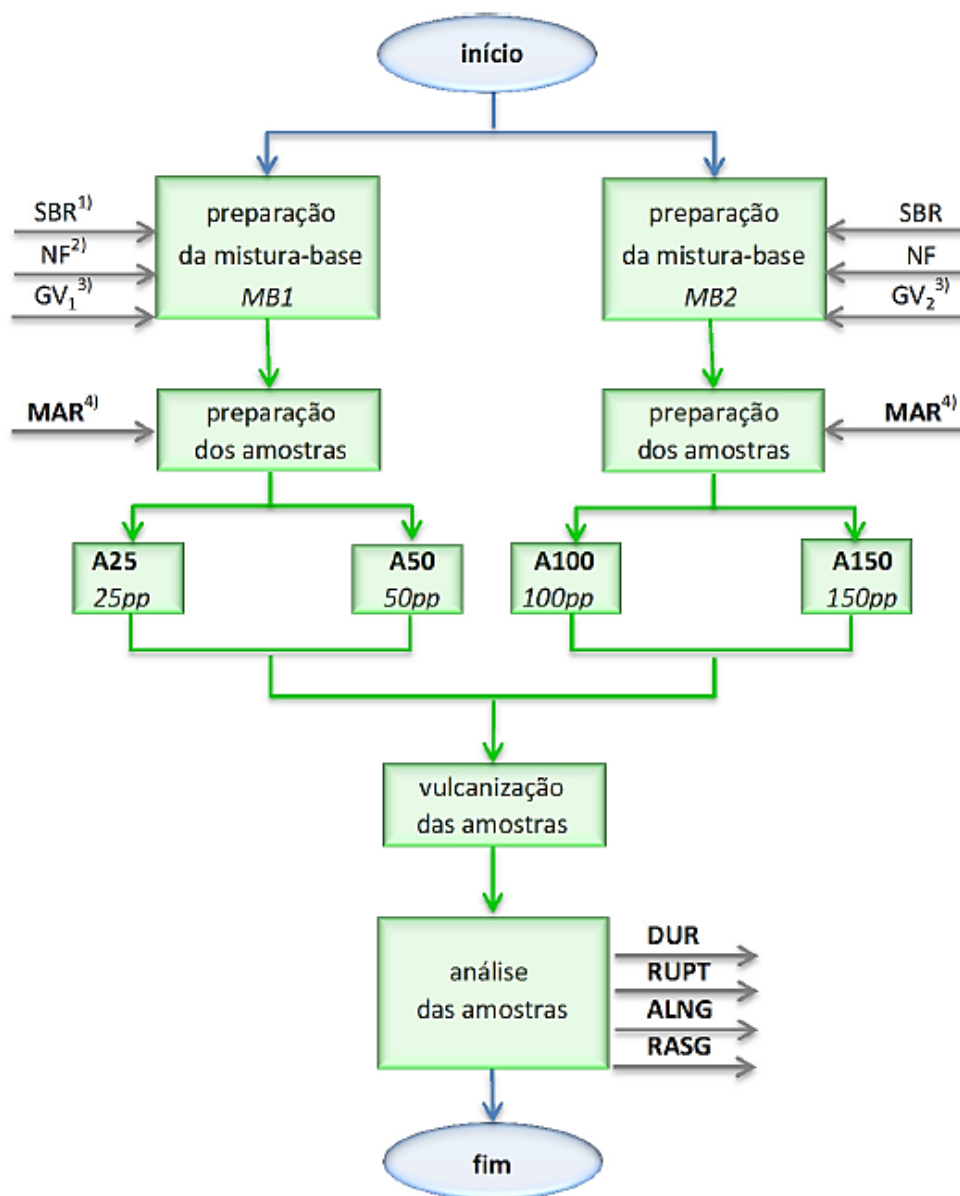


Figura 5 – Especificação do MAR: 24 tipos do produto
(consoante de combinação dos fatores Matéria-prima-Granulometria-Composição)

Antes de começar os ensaios é necessário preparar e calibrar o equipamento laboratorial:

- Misturador de rolos (com comprimento 320mm e diâmetro 160mm; fricção entre 1:1,24 até 1:1,27; velocidade do rolo mas lento entre 23-27,5 rpm);
- Ferramenta para cortar provetas de ensaio;
- Relógio (Temporizador);
- Prensa de vulcanização;
- Tensímetro – para medir a tensão de rutura, alongamento e rasgamento das amostras;
- Durómetro Shore – para medir a dureza das amostras.



¹⁾ **SBR** - Borracha sintética

²⁾ **NF** - Negro de Fumo

³⁾ **GV_{1,2}** - Grupo de vulcanização: Ácido esteárico, Óxido de Zinco, Enxofre, MBTS

⁴⁾ **MAR** - amostras do processo tecnológico: **MP1G1**, **MP1G2**, **MP2G1**, **MP2G2**, **MP3G1**, **MP3G2**

Figura 6 – Fluxograma dos processos laboratoriais de Micronização

Para preparar a amostra é necessário preparar a Mistura-Base conforme a normativa para este tipo de borracha sintética (Государственный Комитет СССР по стандартам 1979) e juntá-la com a carga de MAR. A Mistura-Base **MB1** utiliza-se para estudar as propriedades de misturas com 25pp e 50 pp do MAR. Para estudar as propriedades de misturas com 100 pp e 150 pp do MAR utiliza-se uma Mistura-Base **MB2** que difere de **MB1** apenas na quantidade do grupo de vulcanização: Ácido esteárico, Óxido de Zinco, Enxofre e MBTS (tabela 1).

Tabela 1 – Composição das amostras estudadas

Componentes	Unidades	Composição das amostras					
		Misturas-base		Misturas vulcanizadas			
		MB1	MB2	A25	A50	A100	A150
1	2	3	4	5	6	7	8
SBR 1723 ¹⁾	gr.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ácido esteárico ²⁾	gr.	2,0	4,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Negro de Fumo ³⁾	gr.	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Óxido de Zinco ⁴⁾	gr.	5,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0
Enxofre ⁵⁾	gr.	2,0	4,0	2,0	2,0	4,0	4,0
MBTS ⁶⁾	gr.	3,0	6,0	3,0	3,0	6,0	6,0
Carga ⁷⁾	gr.	-		25,0	50,0	100,0	150,0
¹⁾ SBR 1723	Synthetic Butadiene Rubber, uma das principais borrachas sintéticas de um pneu;						
²⁾ Acido esteárico	Um ácido gordo, ativador de vulcanização (aumenta a ação dos aceleradores orgânicos e assim contribui para a redução do tempo de vulcanização);						
³⁾ Negro de Fumo	Nº 330, Carga de reforço; é seca previamente numa mufla elétrica a 100±5 °C com espessura de camada de material de 10 mm durante 2h. Após a secagem, o Negro de Fumo guarda-se em frasco hermético e estanque;						
⁴⁾ Oxido de Zinco	ZnO, ativador de vulcanização (aumenta a ação dos aceleradores orgânicos e assim contribui para a redução do tempo de vulcanização);						
⁵⁾ Enxofre	Agente de vulcanização;						
⁶⁾ MBTS	2,2-Dibenzothiazole Disulfide, C14H8N2S4, acelerador orgânico de uso geral para borrachas naturais e sintéticas; usado na manufatura dos pneus, dos tubos de borracha, sapatos de borracha, tapetes de borracha e outros artefactos técnicos de borracha.						
⁷⁾ Carga	MAR – Micronized Activated Rubber.						

A amostra para ensaiar prepara-se de um troço de 100 gramas de borracha SBR 1723 previamente passada dez vezes em misturador, depois de cada passada a amostra de borracha retira-se do misturador, dobra-se e assim devolve-se à máquina. A velocidade do rolo dianteiro deve ser 23-27,5 rpm (rotações por minuto), a temperatura da superfície dos rolos 50 ± 5 °C e a folga entre eles $1,0\pm 0,2$ mm conforme a ordem indicada na Tabela 1. Todos os ingredientes introduzem-se homogeneamente ao longo de todo o comprimento de rolo.

Tabela 2 – Processo laboratorial de preparação das amostras

Descrição da operação	Tempo de trabalho, min	
	Início	Operação
1	2	3
1) Passagem de borracha com a folga entre os rolos <i>1,2-1,4 mm</i>	0	3
2) Pré corte de folha de mistura de cada lado de rolo dianteiro a cada <i>30 seg</i>	-	-
3) Introdução de uma parte de Negro de Fumo	3	3
4) Pré corte da folha de mistura de cada lado de rolo dianteiro	-	-
5) Introdução da última parte de Negro de Fumo	6	3
6) Pré corte da folha de mistura de cada lado de rolo dianteiro	-	-
7) Introdução de Ácido esteárico	9	3
8) Pré corte da folha de mistura de cada lado de rolo dianteiro	-	-
9) Introdução de ZnO, Enxofre, MBTS	12	5
10) Pré corte da folha de mistura de cada lado de rolo dianteiro	-	-
11) Tirar mistura dos rolos, afinar de folga até <i>0,6-0,8mm</i> , passar mistura com esta folga <i>6 vezes</i>	17	2
12) Formar folha de mistura com espessura <i>2,1±0,2 mm</i>	19	1
13) Tirar do misturador <i>20 min</i> depois	20	-

Uma vez feitas as Misturas-Base estão prontas para ser misturadas com MAR nas suas proporções próprias para cada composição (25 pp, 50pp, 100 pp, 150pp).

A mistura obtida deve repousar durante *4 horas* antes da vulcanização, depois é cortada por troços de *50 gr.* de peso e colocada dentro dos moldes previamente aquecidos. Os troços devem ter a indicação da direção das linhas de calandragem. Em seguida, os moldes fecham-se e colocam-se dentro de prensa de laboratório, aquecida a $143\pm1^{\circ}\text{C}$ onde amostras vulcanizam-se à temperatura de $143\pm1^{\circ}\text{C}$ e pressão de $7,0\text{ MPa}$ (70 kgs/cm^2) durante *60 min*. Depois da vulcanização em moldes, as amostras têm dimensões $150\times145\text{mm}$ com espessura $2\pm0,1\text{mm}$ para que se possam cortar as provetas conforme as Normas ISO para utilização em ensaios posteriores.

A RMD no seu laboratório com pessoal especializado na indústria de borracha realiza ensaios físicos de produtos distintos com várias proporções de MAR, o que ajuda os clientes a maximizar o uso dos materiais obtidos e uma escolha adequada dos mesmos.

O controlo qualitativo interno é constituído por 5 ensaios principais: a Granulometria; a Dureza (ISO 7619-1 2010; ISO 7619-2 2010); a Tensão de Rutura (ISO 37 2011); o Alongamento de Rutura (ISO 37 2011); a Resistência ao Rasgo (ISO 34-1 2010; ISO 34-2 2011).

3.4.4. Propriedades físicas de MAR

O processo começa com recolha de uma amostra de um *bigbag* cheio e terminado. A amostra é recolhida pelo técnico de laboratório através de lança que lhe permite retirar o material desde o topo de *bigbag* até ao fundo. Depois esta amostra une-se em misturador de rolos com a mistura-base, antecipadamente preparada, para poder proceder a todos os ensaios acima referidos. Os resultados são registados num relatório final e analisados pelo responsável de qualidade. O material produzido cujos resultados dos ensaios estão dentro dos intervalos definidos é considerado “Bom”, caso contrário é rejeitado para a reciclagem.

O controlo de qualidade é baseado no estudo e comparação de propriedades físicas de misturas vulcanizadas com várias percentagens de MAR com as propriedades de mistura-base (Tabela 1), constituída por uma mistura de SBR (*Copolímero de estireno e butadieno*) com um conjunto mínimo de ingredientes de vulcanização (Государственный Комитет СССР по стандартам 1979). Esta quantidade mínima de ingredientes é necessária para poder avaliar o efeito de MAR evitando a sua influência nas propriedades finais. A SBR, borracha tipo “R” (ISO 1629 1995), foi escolhida para escala de comparação porque é uma das borrachas principais na composição de um pneu e mais apresentada na indústria de borracha (RUBBER GUIDEBOOK – RING, Anexo 3).



PROPIEDADES FÍSICAS

Ingredientes			referencia	MAR-FB65				
				25 pp	50 pp	100 pp	150 pp	Composição
Mezcla	SBR 1723	g	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
	Acido estearico	g	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	
	Negro Humo N-330	g	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	
	ZnO	g	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	
	Asufre	g	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	
	MBTS	g	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	
	MAR-FB65	g	0	25,0	50,0	100,0	150,0	
Total M.B.			152,0	177,0	202,0	264,0	314,0	
Dureza		NP ISO 7619	ShA					Dados laboratoriais
Tensión de Rotura		NP ISO 37	kg/cm2					
Elong. a Rotura		NP ISO 37	%					
Resistencia al desgarro		NP ISO 34	kN/m					

Figura 7 – Uma forma de apresentação das propriedades do MAR

Em muitas situações não é fácil definir a dimensão das partículas devido à sua forma muito irregular. Quando as partículas têm a forma esférica ou aproximadamente esférica, é relativamente simples definir os seus diâmetros. Quando as partículas apresentam formas muito irregulares – como no caso de partículas de borracha granulada ou de MAR, a aplicação do termo “*diâmetro*” é praticamente impossível, e utiliza-se uma palavra mais adequada - o tamanho das granulos ou granulometria que se mede com um tamisador tipo Restch.

O provete de ensaio é uma porção do material a ensaiar que possui, normalmente, a forma de um haltere ou outra forma de acordo com os requisitos dos ensaios. Todos os provetes são obtidos por corte no laboratório da RMD, a partir de placas de borracha de determinada espessura, obtidas também no laboratório da RMD, nas condições devidamente especificadas anteriormente.

Para definir a “tensão de rutura” em tração em primeiro lugar é necessário perceber o processo laboratorial: um provete tipo haltere é submetido a uma força de tração de valor crescente, que faz com que o material aumente progressivamente de comprimento até que em determinado momento e dependendo do seu módulo de elasticidade, o provete parte-se, apresentando um “alongamento na rutura”. A força correspondente a esse momento é a chamada força de rutura, e se se dividir o valor dessa força pela área da secção submetida à tração (secção inicial), obtém-se o valor da “tensão de rutura”.

A determinação do alongamento de rutura realiza-se por meio de um sistema mecânico de pinças, devidamente posicionadas sobre o provete de ensaio, depois deste ser colocado e fixado nos dispositivos próprios para o efeito.

A determinação da resistência ao rasgo é efetuada através de *tensímetros*, utilizando os provetes adequados para o efeito. Diversas normas internacionais descrevem e especificam este tipo de ensaio, a RMD utiliza o provete de tipo crescente.

A dureza é a propriedade mais utilizada na Indústria da Borracha e é muito importante na generalidade das aplicações. A medida da dureza é baseada na penetração de uma agulha num provete normalizado. Assim, é conhecida a relação entre a profundidade de penetração de uma agulha e o módulo de Young, para um material perfeitamente elástico e isotrópico. Existem vários instrumentos para medição da dureza (Shore O ou OO, Shore A, Shore D, microdurómetros, e etc.), dependendo do tipo de borracha a ensaiar (esponjosas; média, meio macia ou meio dura; dura ou extra dura; ou para medir de artefactos de reduzidas dimensões, etc). A RMD utiliza no seu laboratório um durómetro tipo Shore A.

Devido às tendências de aumento do interesse do mercado no produto desenvolvido e a ausência produtos substitutos e análogos no mercado, surgiu a necessidade de um estudo mais detalhado das propriedades do mesmo e, portanto, agora estão em curso as negociações com os fornecedores para adquirir o equipamento laboratorial necessário para realizar os testes seguintes:

- Densidade (ISO 2781 2011);
- Viscosidade Mooney ML 1+4 (ASTM D1646/ ISO 289);
- Compressão Set 25% 24h a 70°C (ISO 815-1,2 2012).

A qualidade dos resultados das análises laboratoriais depende principalmente do cumprimento obrigatório dos requisitos das normas ISO aplicadas, da calibração certa do equipamento laboratorial e da execução da sequência do processo tecnológico.

O Departamento de Qualidade garante a conformidade e uniformidade de propriedades e granulometrias dos produtos com ensaios rotineiros de amostras.

CAPÍTULO 4 – PROJETO DE MELHORIA CONTÍNUA NA RMD

4.1. Análise descritiva dos dados recolhidos

O objetivo deste projeto é o de estudar o comportamento do MAR relativamente às diferentes combinações dos fatores e comparar as propriedades físicas obtidas, determinando, assim, quais os fatores que têm uma influência significativa no resultado final.

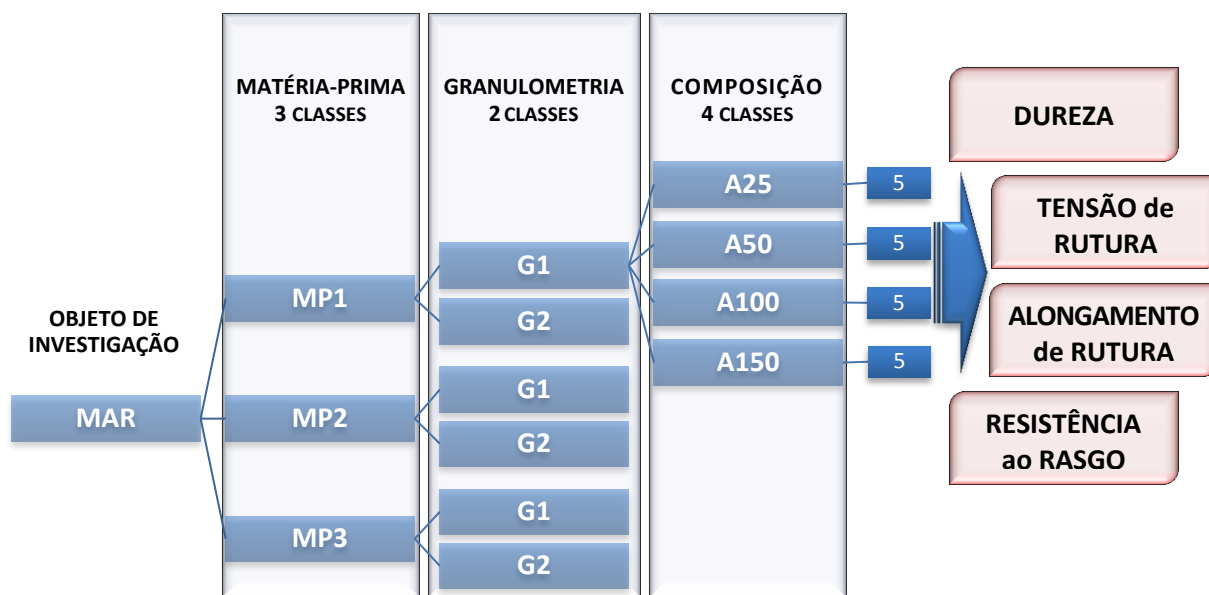


Figura 8 – Amostragem do problema de investigação

A recolha dos dados foi realizada recorrendo ao processo experimental, devido à decisão da RMD de realizar um estudo do MAR (Figura 8) e analisar o efeito de três tipos de *Matéria-prima* (MP1, MP2 e MP3), dois tipos de *Granulometria* (G1 e G2) e quatro tipos de *Composição* (A25, A50, A100, A150) nas propriedades físicas do MAR (a *Dureza*, a *Tensão de Rutura*, a *Alongamento de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo*). Para isso, testaram-se as várias combinações juntando-as com a Mistura-Base em condições laboratoriais. Para alcançar o objetivo do projeto foram determinadas 24 populações do estudo. Para estudar o efeito de cada fator no resultado final foram retiradas 40 amostras de cada classe (3) da *Matéria-prima*, 60 amostras de cada classe (2) da *Granulometria* e 30 amostras de cada classe (4) da *Composição*, num total de amostras 120 (Anexo 10).

Neste estudo o processo de seleção de cada amostra a partir da população é probabilístico aleatório, uma vez que cada elemento está a ser considerado na amostra com a mesma probabilidade sem recurso a quaisquer critérios de escolha.

Os dados obtidos são primários porque foram recolhidos diretamente na linha piloto de RMD, misturados e analisados num laboratório próprio da RMD pelos responsáveis de Qualidade, especialmente para este estudo.

As variáveis dependentes – a *Dureza*, a *Tensão de Rutura*, o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo* são quantitativas, expressas numa escala absoluta, de natureza contínua.

As variáveis independentes – *Matéria-prima*, *Granulometria* e *Composição*, são qualitativas e expressas numa escala nominal uma vez que cada uma é designada por números (o que foi decidido pelo investigador) que não têm nenhum significado quantitativo.

4.1.1. Dureza

a) Distribuição de frequências e representações gráficas

A representação gráfica da Distribuição de Frequências absolutas da Dureza (Figura 9a) permite visualizar que todos os dados estão reagrupados em dois conjuntos. Além disso, cada um deles tem aproximadamente o mesmo número de ocorrências na amostra, 60 vezes das 120 (tamanho da amostra). Maior frequência tem o valor de Dureza igual a 64 ShA (32 vezes), seguidos dos valores 53 ShA e 63 ShA com frequência absoluta de 20 vezes de cada. Registaram-se apenas uma vez como valores de Dureza 51, 57 e 59 ShA. O valor máximo de Dureza é 65 ShA e o valor mínimo é igual a 51 ShA, que estão encontrados 8 vezes e 1 vez, respetivamente Figura 9a, Anexo 9).

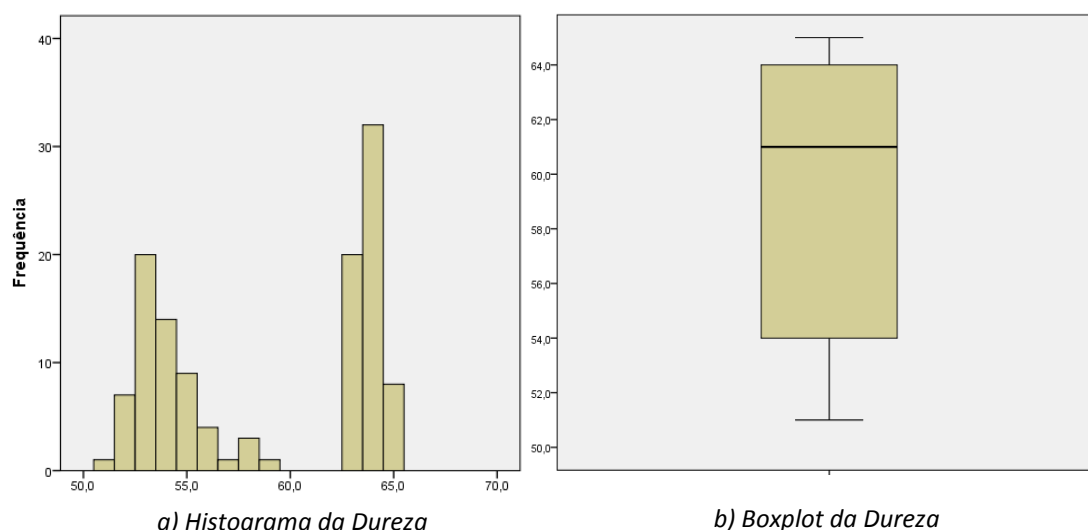


Figura 9 – Distribuição de frequências da Dureza

No gráfico da Figura 9a, verifica-se que os dados se agrupam em dois conjuntos distintos. O primeiro conjunto de dados representa os resultados dos ensaios do MAR que pertencem às amostras com *Composição* A25 ou A50, conjugadas com todas as *Matérias-primas* (MP1, MP2, MP3) e *Granulometrias* (G1, G2). O menor valor (51 ShA), como foi dito anteriormente, encontra-se uma vez e pertence à amostra MP3-G1-A25, com uma média de 52,4 ShA (Anexo 7). Pelo contrário, o maior valor deste conjunto também se encontra só uma vez e é igual a 59 ShA, correspondendo a uma amostra MP2-G1-A50 com uma média amostral 58,0 ShA.

O valor que apresenta uma maior frequência, encontrado 20 vezes em 60, é igual a 53 ShA e pertence às seguintes amostras:

- MP1-G1-A25 4 vezes,
- MP1-G1-A50 4 vezes,
- MP1-G2-A25 1 vez;
- MP2-G1-A25 1 vez,
- MP2-G2-A25 3 vezes,
- MP2-G2-A50 4 vezes;
- MP3-G1-A25 3 vezes.

Conclui-se que este valor surgiu com maior frequência na *Composição A25* – 12 vezes em 20, na *Matéria-prima MP1* – 9/20, e na *Granulometria G1* – 12/20.

Obviamente, o segundo conjunto de dados, representado na Figura 9a, refere-se às amostras com *Composição A100* e *A150* e tem o valor 64 ShA com maior frequência, tanto dentro deste conjunto (32 vezes em 60) como dentro das todas amostras estudadas (32 em 120), e encontra-se nas amostras com *MP1* – 15 vezes em 32, com *G2* – 18/32 e com *A100* – também 18 vezes. O máximo deste conjunto é igual a 65 e encontra-se maioritariamente nas amostras *MP3* (6 vezes em 8), *G1* – 6 vezes, e com *Composição A100* – 5 vezes, e em particular, nas amostras do MAR com combinação dos fatores *MP3-G1-A100/A150* – 3 e 2 vezes, respetivamente.

A análise do gráfico do tipo Caixa dos bigodes da Dureza (Figura 9b) em comparação com as tendências representadas com as características calculadas da Estatística Descritiva (Anexo 9) permite afirmar que:

- O extremo inferior corresponde ao valor mínimo que é igual a 51 ShA.
- O extremo superior corresponde ao valor máximo que é igual a 65 ShA.
- O valor correspondente à mediana é 61 ShA.
- O valor do 1º quartil da amostra é igual a 54 ShA e localiza-se mais afastado do Extremo inferior do que o valor do 3º quartil que é igual a 64 ShA do Extremo superior.

b) Medidas de localização: tendências centrais

Com objetivo perceber melhor como os dados de experiência se distribuem, foram analisados os seguintes indicadores (Figura 9, Anexo 9):

- Média o centro da amostra está localizado em 58,9 ShA, embora este valor apresente uma frequência muito baixa.
- Moda o valor que surge com mais frequência é 64 ShA, além disso, este pico visualiza-se perfeitamente no Histograma analisado anteriormente.
- Mediana o centro de distribuição dos dados está associado com o valor igual a 61ShA, mas este valor não pertence à amostra.

c) Medidas de localização: dispersão

Estas medidas permitem medir a variabilidade dos dados analisados. De acordo com os resultados (Anexo 9) apresentam os seguintes valores:

- Variância 25,8 ShA.
- Desvio padrão 5,08 ShA.

Visualmente, num Histograma da Dureza podemos imaginar a existência das duas curvas de distribuição muito afuniladas, mas na verdade a distribuição tem uma tendência à esquerda (ou negativa) devido ao facto de: 58,9 (média amostral) < 61,0 (mediana) < 64,0 (moda).

4.1.2. Tensão de Rutura

a) Distribuição de frequências e representações gráficas

De acordo com os dados que estão representados no Histograma da Tensão de Rutura (Figura 10a) a maior frequência relativa (cerca de 14%) tem um valor de Tensão de Rutura de aproximadamente 21 kgF e pertence às *Matérias-primas MP1 e MP2*. Os valores aproximados a 17kgF, 18kgF, 20kgF repetem-se pelo menos 10 vezes cada um nas amostras estudadas. A menor frequência absoluta e, ao mesmo tempo, o valor mínimo da Tensão de Rutura a só um ensaio com valor igual a 15,1kgF e pertence à amostra *MP3-G1-A50*. O valor máximo da Tensão de Rutura ou extremo superior é igual a 22,5kgF e foi encontrado 6 vezes (Figura 10) correspondendo aos ensaios das amostras *MP2-G2-A100* e *MP2-G2-A150* com a frequência absoluta de 2 e 4 vezes e com as médias amostrais 21,18 kgF e 22,28 kgF, respetivamente. De acordo com o gráfico das médias (Anexo 8, b), a *Matéria-prima MP3* representa resultados de Tensão de Rutura inferiores do que *MP1* e *MP2*, que são aproximadas entre si.

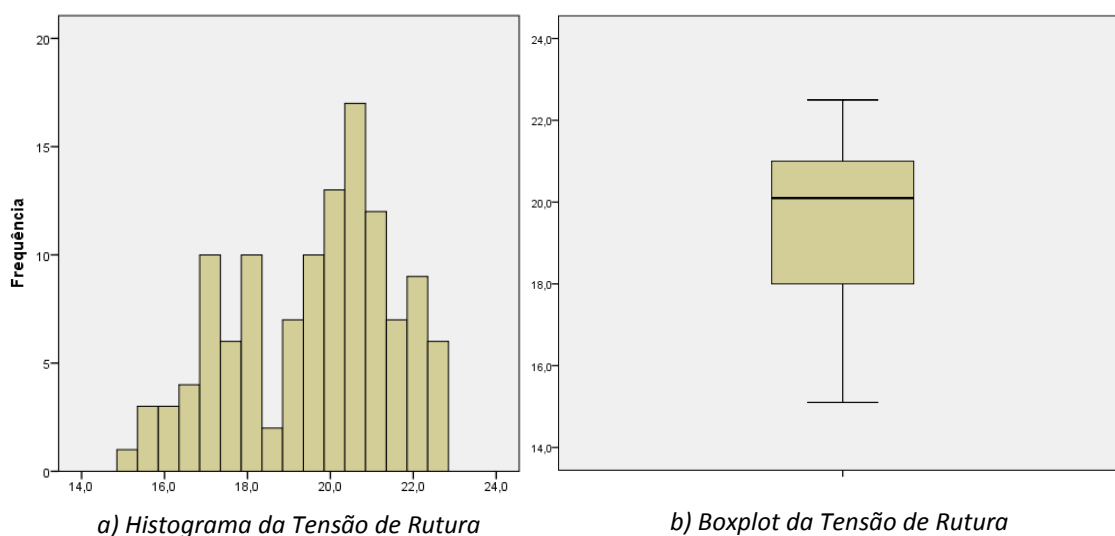


Figura 10 – Distribuição de frequências da Tensão de Rutura

O diagrama de Extremos e quartis, ou seja, Caixa de bigodes da Tensão de Rutura (Figura 10b) permite visualizar algumas características da Estatística Descritiva (Anexo 9) e confirmar que:

- O extremo inferior tem a sua localização no ponto 15,1kgF.
- O extremo superior tem a sua localização no ponto 22,5kgF.
- O valor correspondente à mediana é 20,1kgF.
- 50% dos elementos do meio da amostra estão contidos num intervalo entre 18,0kgF (corresponde ao 1º quartil) e 21,1kgF (corresponde ao 3º quartil).

b) Medidas de localização: tendências centrais

Os resultados contidos nos dados observados para representar as tendências centrais são os seguintes (Figura 10, Anexo 9):

- Média a média aritmética dos valores da amostra é 19,6 kgF.
- Moda o valor no qual se concentrem o máximo dos dados é 22,0kgF.
- Mediana o valor da variável que divide as observações em duas partes iguais é 20,1kgF.

c) Medidas de localização: dispersão

As medidas de dispersão permitem ao investigador ou analista perceber melhor a variação dos dados obtidos durante do estudo e neste caso em particular os valores são (Anexo 9):

- Variância 3,62kgF.
- Desvio padrão 1,9 kgF.

A distribuição é assimétrica negativa, porque o alongamento imaginado através do gráfico de distribuição das frequências tende a ocorrer no lado esquerdo, além disso: 19,6 (média amostral) < 20,1 (mediana) < 22,0 (moda) e a linha da mediana está mais próximo ao 3º quartil e ao extremo superior na Caixa de bigotes.

4.1.3. Alongamento de Rutura

a) Distribuição de frequências e representações gráficas

A partir da análise do Histograma do Alongamento de Rutura (Figura 11a) conclui-se que a situação é semelhante à distribuição de frequência da Dureza (ver capítulo 3.1.1): visualizam-se dois grupos de dados aproximadamente equilibradas, ou seja, com uma frequência relativa de 50%. No primeiro conjunto, os valores variam entre 234mm (valor mínimo) e 305mm e o segundo intervalo apresenta valores que vão desde 338mm até o valor máximo que é igual a 431mm. O valor mínimo encontra-se com uma frequência relativa de 0,8 %, assim como o valor máximo.

De acordo com os resultados obtidos, o primeiro conjunto descreve os valores dos ensaios do MAR que pertencem às amostras muito equilibradas entre si com as seguintes combinações de fatores: *MP1*, *MP2*, *MP3* – cada um deles foi encontrado 20 vezes, *G1* e *G2*, tal como *A100* e *A150* encontrados 30 vezes em 60 (total de amostras neste conjunto).

O menor valor (234 mm) pertence à amostra *MP3-G1-A100*, com uma média deste conjunto de 242,4 mm (Anexo 7). Pelo contrário, o valor maior deste conjunto caracteriza uma amostra *MP2-G1-A150* com uma média amostral de 296,6mm.

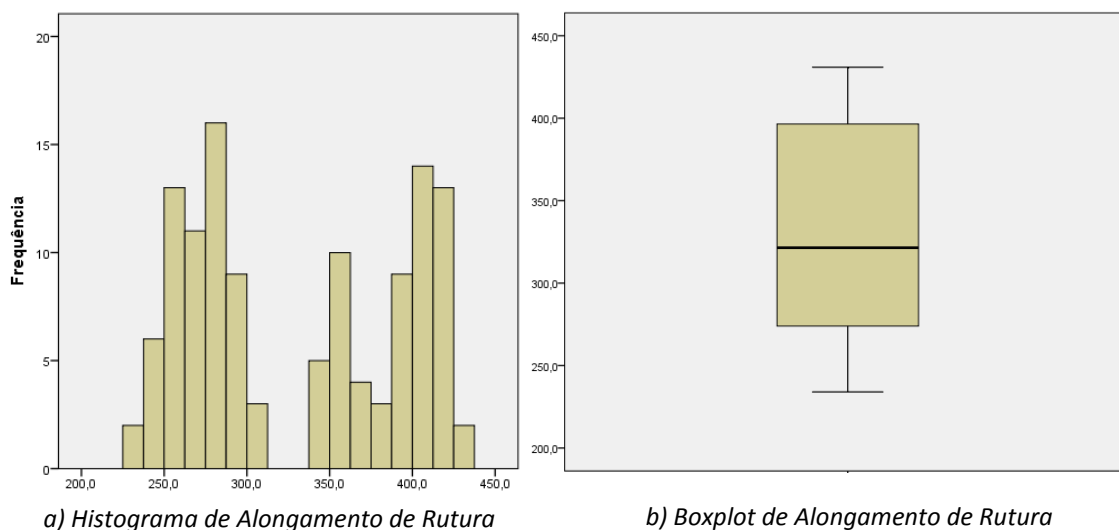


Figura 11 – Distribuição de frequências do Alongamento de Rutura

No intervalo aproximado 275-290mm visualiza-se a maior frequência de dados (16 vezes em 60), que pertence às amostras *MP1* (9 vezes) ou *MP2* (7 vezes), na sua maioria com *Granulometria G1* e *Composição A100* (que são encontrados 9 e 10 vezes, respetivamente). Os dados amostrais de *MP3* estão à esquerda do valor com a maior frequência, ou seja, a Matéria-prima *MP3* representa o menor valor amostral de Alongamento de Rutura.

Por conseguinte, o segundo conjunto de dados refere-se às amostras com a *Composição A25* e *A50*: o máximo deste conjunto encontra-se na combinação dos fatores *MP1-G2-A25* e com uma média amostral igual a 421,4mm. O mínimo pertence à amostra *MP3-G2-A25* com o valor de média amostral de 345,4 mm.

Confirma-se que o MAR feito a partir da Matéria-prima *MP3* tem o menor *Alongamento de Rutura* do que o produzido com *MP1*, tal como as *Composições A100* e *A150* provocam uma diminuição dos valores desta propriedade do MAR estudado. Além disso, o *Alongamento de Rutura* tem a razão inversa à *Dureza*: quando os valores da *Dureza* aumentam, os valores correspondentes ao *Alongamento de Rutura* diminuem.

De acordo com as linhas representadas no *Boxplot* (Figura 11b) e relacionando com os dados da Tabela de Estatística Descritiva (Anexo 9), conclui-se que:

- O ponto mais baixo do gráfico corresponde ao Extremo inferior e tem o valor igual a 234mm.
- O ponto mais alto do gráfico corresponde ao Extremo superior e tem o valor 431mm.
- Uma barra dentro da caixa corresponde ao valor da mediana e localiza-se mais próximo ao 1º quartil da amostra cujo valor é igual a 274mm e mais longe do 3º quartil com o valor 395,75mm.

b) Medidas de localização: tendências centrais

As tendências centrais dos dados obtidos durante deste estudo apresentam os seguintes valores para as medidas de localização (Figura 11, Anexo 9).

- Média ao centro da amostra pertence o valor 330,4 mm, embora não tenha sido registado nenhuma vez neste estudo do Alongamento.
- Moda o valor que surgiu o máximo vezes durante os ensaios foi 290mm.
- Mediana 50% dos elementos da amostra apresentam valores menores ou iguais a 321,5mm e os outros 50% valores maiores, mas novamente, este valor está fora das observações.

c) Medidas de localização: dispersão

As medidas de dispersão dos dados representam a forma como os dados se distribuem em redor da média e conforme os resultados (Anexo 9) os valores calculados foram:

- Variância 4096,19mm.
- Desvio padrão 64mm.

De acordo com as regras estatísticas: $290(\text{moda}) < 321,5(\text{mediana}) < 330,4(\text{média amostral})$, a dispersão tem uma tendência não simétrica à direita, mas através do Histograma é possível imaginar novamente a existência de duas curvas de distribuição, embora não tão alargadas como se verifica no caso da Dureza.

4.1.4. Resistência ao rasgo**a) Distribuição de frequências e representações gráficas**

A distribuição de frequências absolutas da Resistência ao Rasgo está representada no Histograma abaixo (Figura 12). A observação deste gráfico relativo aos dados estudados ajuda a perceber que a maior frequência absoluta (cerca de 20 vezes) tem os valores aproximados a 7kgF, embora os valores no intervalo entre 5,5kgF e 8,5kgF têm a frequência de 62,5%. O valor máximo é igual a 12,6kgF (pertence às amostras *MP3-G1-A50* com uma média amostral 9,82kgF) e o valor mínimo é igual a 4,4kgF (pertence a *MP3-G1-A100* com uma média amostral de 5,58 kgF), ambos apresentando uma frequência absoluta igual a um (Figura 12a, Anexo 9).

Conforme os resultados apresentados no Anexo 9, as amostras feitas à base da *Composição A25* e *A50* possuem valores de Resistência ao Rasgo superiores aos das amostras compostas com *A100* e *A150*. A menor média amostral, igual a 5,44kgF, pertence às amostras *MP3-G1-A150*, e a maior média amostral (10,84 kgF) corresponde às amostras *MP2-G1-A25*.

O diagrama do tipo Caixa para a Resistência ao Rasgo (Figura 12a) está completamente diferente dos analisados anteriormente, porque se consegue observar dois pontos acima do Valor máximo, dois *Outliers* que correspondem às observações com os valores 49kgF e 89kgF (das 120), que estão no intervalo de $3^{\text{o}}\text{Quartil} + 1,5\text{Amplitudes Interquartil}$ e $3^{\text{o}}\text{Quartil} + 3\text{Amplitudes Interquartil}$. Além disso, com o apoio dos resultados da Estatística descritiva (Anexo 9), verifica-se que:

- 50% dos elementos do meio da amostra estão num intervalo 6,025kgF e 8,4kgF (Amplitude Interquartil) e localizam-se na primeira metade do gráfico.

- Todos os dados amostrais estão equilibrados no ponto 7,1kgF (mediana da amostra) e a partir daqui observam-se dois subgrupos: 50% dos dados (do valor mínimo até à mediana) estão no intervalo 4,4-7,1kgF e os outros 50% (da mediana até o valor máximo da Caixa) estão no intervalo 7,1-12,6kgF.

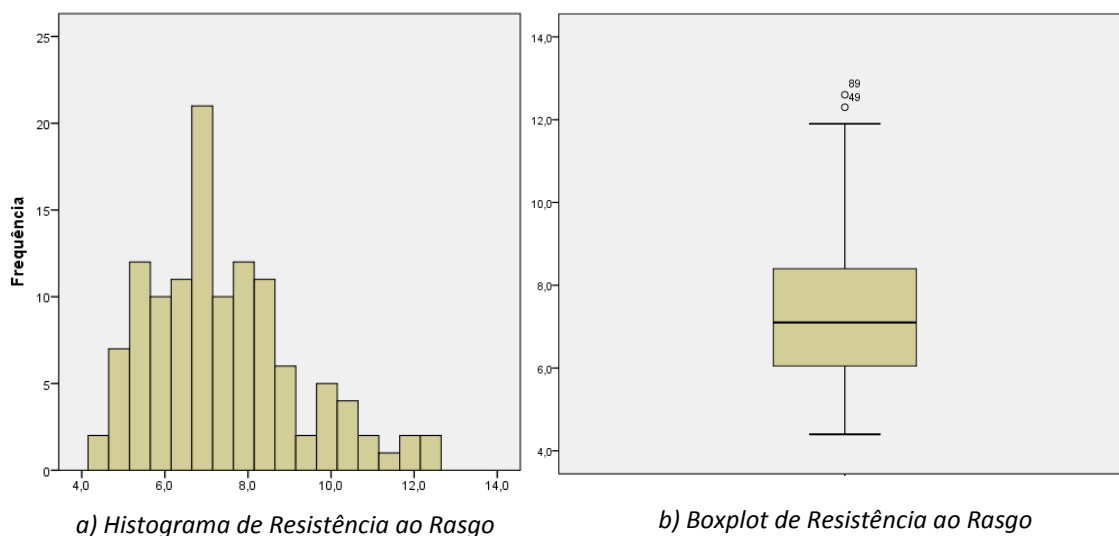


Figura 12 – Distribuição de frequências de Resistência ao Rasgo

b) Medidas de localização: tendências centrais

Foram analisadas as seguintes medidas para as tendências centrais (Figura 12, Anexo 9)

- Média o centro da amostra está localizado em 7,4kgF, o que está próximo à mediana.
- Moda o valor que detém o maior número de observações é 5,3kgF.
- Mediana o valor que divide as observações em duas partes iguais é 7,1kgF.

c) Medidas de localização: dispersão

A dispersão mede como próximos uns com outros estão os valores do grupo. Neste estudo as medidas de localização têm os seguintes valores (Anexo 9):

- Variância 3,17kgF.
- Desvio padrão 1,78kgF.

No caso da Resistência ao Rasgo a distribuição é obviamente assimétrica positiva, porque o alongamento imaginado através do gráfico de distribuição das frequências tende a ocorrer à direita. Além disso: 5,3 (moda) < 7,1 (mediana) < 7,4 (média amostral) e a linha da mediana está mais próxima do 1º quartil e do extremo inferior do *Boxplot*.

4.2. Determinação da dependência das propriedades físicas do MAR

Para determinar se existe dependência das propriedades físicas do MAR (nesta fase do projeto são estudadas apenas *a Dureza, a Tensão de Rutura, o Alongamento de Rutura e a Resistência ao Rasgo*) dos fatores críticos dos *inputs* (*Matéria-prima, Granulometria e Composição*), foi decidido implementar uma técnica estatística, a Análise de Variâncias

Inicialmente foram verificados os pressupostos seguintes: Normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov) e Homogeneidade de variância (teste de Levene). Quanto à normalidade, as observações não têm uma distribuição normal (Anexo 11), mas tendo em conta que o tamanho da amostra estudada não é pequeno, é possível não dar demasiada importância ao resultado deste teste (Guimarães and Cabral 2007). Quanto à homogeneidade, é possível concluir que três das quatro variáveis: a Dureza, a Tensão de Rutura, o Alongamento de Rutura, são homogêneas (Anexo 12), mas os valores deste teste também não são muito determinantes em amostras “equilibradas” (Guimarães and Cabral 2007), como acontece neste projeto.

De acordo com os resultados obtidos, confirma-se que a possibilidade de recorrer à ANOVA como a ferramenta estatística mais adequada para este estudo.

Como foi dito anteriormente (ver o capítulo 2.3.2), esta metodologia baseia-se na comparação das médias com objetivo de decidir se existem ou não diferenças significativas entre elas, através da realização de testes de hipóteses com um nível de significância de 5%.

Foram formuladas as hipóteses seguintes:

- H_0 : as médias amostrais são iguais,
ou seja, as propriedades físicas do MAR não dependem do fator em estudo.
- H_1 : pelo menos uma média é diferente,
ou seja, as propriedades físicas do MAR dependem do fator em estudo.

4.2.1. Dureza

Uma das primeiras variáveis a ser estudada foi a Dureza. Na tabela seguinte (Tabela 3) são apresentados os resultados da análise de variâncias dos fatores principais e a sua interação. Conclui-se que a Granulometria não tem influência significativa no indicador da Dureza devido às diferenças não significativas dentro das médias das amostras.

Pelo contrário, a Matéria-prima e a Composição são os fatores que fornecem uma alteração significativa no valor da Dureza (ambos têm $p\text{-value}=0.000$) e existem diferenças significativas entre as médias. Para identificar quais são as médias diferentes, foi efetuado um teste suplementar – um teste de comparações múltiplas, que é feito em termos do valor absoluto das diferenças entre médias. Neste estudo foi escolhido um teste de Tuckey uma vez que as amostras estudadas são equilibradas, ou seja, todas têm a mesma dimensão.

Tabela 3 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Dureza)

Fonte	Tipo II Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	3034,400 ^a	23	131,930	347,948	,000
Ordenada na origem	416305,200	1	416305,200	1097947,780	,000
<i>matériaPrima</i>	8,450	2	4,225	11,143	,000
<i>granuloMetria</i>	,300	1	,300	,791	,376
<i>composição</i>	2914,533	3	971,511	2562,227	,000
<i>matériaPrima * granuloMetria</i>	18,150	2	9,075	23,934	,000
<i>matériaPrima * composição</i>	26,017	6	4,336	11,436	,000
<i>granuloMetria * composição</i>	19,567	3	6,522	17,201	,000
<i>matériaPrima * granuloMetria * composição</i>	47,383	6	7,897	20,828	,000
Erro	36,400	96	,379		
Total	419376,000	120			
Total corrigido	3070,800	119			

Os resultados do teste (Anexo 14) confirmam que não há uma diferença significativa entre as Matérias-primas *MP1* e *MP2*, bem como entre *MP2* e *MP3*. Estes dois subconjuntos são homogêneos entre si (Tabela 4), embora exista uma distinção significativa entre *MP1* e *MP3*. Em valor absoluto, *MP1* tem o menor valor de Dureza, ao contrário de *MP3* que tem o maior valor das médias.

Quanto ao estudo da Composição, verifica-se que as médias de *A100* e *A150* são pouco distintas entre si (p-value=0,341, Anexo 14) o que permite agrupá-las num conjunto homogêneo (Tabela 4).

Tabela 4 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Dureza)Tukey HSD^{a,b}

<i>matériaPrima</i>	N	Subconjunto	
		1	2
MP1	40	58,575	
MP2	40	58,900	58,900
MP3	40		59,225
Sig.		,052	,052

<i>composição</i>	N	Subconjunto		
		1	2	3
A25	30	53,267		
A50	30		54,733	
A150	30			63,667
A100	30			63,933
Sig.		1,000	1,000	,341

4.2.2. Tensão de Rutura

A Tensão de Rutura depende de todos os fatores principais (Tabela 5), mas qualquer interação entre eles não fornece uma variabilidade significativa nesta característica do produto.

Com o objetivo de analisar esta situação (quando a interação dos fatores não é significativa, mas os efeitos coerentes são significativos) e identificar o possível impacto de cada fator, foi tomada a decisão de construir um novo modelo de ANOVA sem interação, uma vez que este modelo é mais “robusto”, e pode esclarecer qual o fator que tem o impacto menos significativo. Durante o estudo desta situação verificou-se duas vezes: para a Tensão de Rutura e Resistência ao Rasgo, por isso, obviamente, mostrou-se mais apropriado usar outra ferramenta de análise de variância – MANOVA (*Multivariate analysis of variance*, uma forma generalizada da ANOVA), que permite analisar ao mesmo tempo duas ou mais variáveis dependentes, como é o caso.

De acordo com MANOVA, as variáveis são homogêneas (Anexo 13) e os resultados mostram que embora se verifique uma independência da Tensão de Rutura em relação à Granulometria (Anexo 18), ou seja, a Granulometria deixou de ser um efeito considerado estatisticamente significativo ($p\text{-value}=0,063 > \alpha=0,05$) neste indicador da Qualidade do MAR.

Tabela 5 – ANOVA: Testes de efeitos entre factores (Tensão de Rutura)

Fonte	Tipo II Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	336,444	23	14,628	14,803	,000
Ordenada na origem	46079,602	1	46079,602	46631,407	,000
<i>matériaPrima</i>	280,282	2	140,141	141,819	,000
<i>granuloMetria</i>	4,070	1	4,070	4,119	,045
<i>composição</i>	16,521	3	5,507	5,573	,001
<i>matériaPrima * granuloMetria</i>	1,250	2	,625	,633	,533
<i>matériaPrima * composição</i>	24,208	6	4,035	4,083	,001
<i>granuloMetria * composição</i>	5,625	3	1,875	1,897	,135
<i>matériaPrima * granuloMetria * composição</i>	4,488	6	,748	,757	,605
Erro	94,864	96	,988		
Total	46510,910	120			
Total corrigido	431,308	119			

Mais uma vez confirma-se a similaridade de *MP1* e *MP2* (Tabela 6), o que significa que para a qualidade final do produto estudado em termos de Tensão de Rutura do MAR não há grande diferença consoante o tipo de Matéria-prima utilizada: *MP1* ou *MP2*. No entanto, há que notar que *MP2* tem um valor médio maior quando *MP3* tem o menor (Tabela 6).

Tabela 6 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Tensão de Rutura)

Tukey HSD^{a,b}

matériaPrima	N	Subconjunto	
		1	2
MP3	40	17,448	
MP1	40		20,465
MP2	40		20,875
Sig.		1,000	,161

composição	N	Subconjunto		
		1	2	3
A50	30	19,133		
A25	30	19,343	19,343	
A100	30		19,860	19,860
A150	30			20,047
Sig.		,846	,190	,886

No quadro dos resultados do teste de comparação múltipla (Anexo 15) identifica-se que as médias de *A25* e *A50*, bem como as de *A100* e *A150* estão menos afastadas do que as médias do subconjunto *A25* e *A100*. Isto é, os subconjuntos *A25 – A50* e *A100 – A150* são mais homogêneos. Para além disso, o primeiro grupo tem o valor absoluto da Tensão de Rutura menor (Tabela 6).

O estudo dos efeitos principais na base de construção da MANOVA (Anexo 19) revelou uma homogeneidade dos subconjuntos *A25 – A100 – A150* (Tabela 6). Apesar disto, continua a existir uma tendência entre as médias mais aproximadas: *A100* e *A150* têm a maior similaridade ($p\text{-value}=0,907$), tal como entre *A25* e *A50* a diferença não é significativa ($p\text{-value}=0,873$).

4.2.3. Alongamento de Rutura

A ANOVA dos efeitos influenciados no Alongamento de Rutura mostra que esta propriedade do MAR depende significativamente de todos os fatores principais, bem como quando se consideram as interações entre eles (Tabela 7).

Apesar disto, existe uma aproximação estatística (com o nível de significância $0,119 > \alpha=0,05$) das médias amostrais de *MP1* e *MP2* (Anexo 16) que obviamente leva a um agrupamento destes tipos da Matéria-prima num conjunto homogêneo (Tabela 8). A diferença na Composição distingue as médias significativamente (todas as estimativas são iguais a zero (Anexo 16)).

Tabela 7 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Alongamento de Rutura)

Fonte	Tipo II Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	482504,792 ^a	23	20978,469	407,448	,000
Ordenada na origem	13096395,408	1	13096395,408	254360,678	,000
<i>matériaPrima</i>	25256,067	2	12628,033	245,264	,000
<i>granuloMetria</i>	343,408	1	343,408	6,670	,011
<i>composição</i>	433116,625	3	144372,208	2804,024	,000
<i>matériaPrima</i> * <i>granuloMetria</i>	3304,467	2	1652,233	32,090	,000
<i>matériaPrima</i> * <i>composição</i>	2128,600	6	354,767	6,890	,000
<i>granuloMetria</i> * <i>composição</i>	6950,625	3	2316,875	44,999	,000
<i>matériaPrima</i> * <i>granuloMetria</i> * <i>composição</i>	11405,000	6	1900,833	36,918	,000
Erro	4942,800	96	51,488		
Total	13583843,000	120			
Total corrigido	487447,592	119			

Tabela 8 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Alongamento de Rutura)Tukey HSD^{a,b}

<i>matériaPrima</i>	N	Subconjunto	
		1	2
MP3	40	309,925	
MP1	40		338,975
MP2	40		342,175
Sig.		1,000	,119

<i>composição</i>	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
A100	30	265,700			
A150	30		275,933		
A50	30			379,800	
A25	30				400,000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

4.2.4. Resistência ao rasgo

Os resultados da Análise de variância, representados abaixo (Tabela 9), permitem concluir que há influência significativa dos fatores na Resistência ao Rasgo, mas confirma igualmente que algumas interações dos fatores (Granulometria e Composição, tanto como interação dos três fatores estudados) não têm o impacto significativo nesta propriedade física do MAR.

Como aconteceu com o estudo da Tensão de Rutura (quando a interação dos fatores não é significativa, mas os efeitos coerentes são significativos, capítulo 3.2.2), foi utilizada uma

ferramenta MANOVA para analisar a Resistência ao Rasgo. O resultado não revelou nenhuma dependência nova (Anexo 18), nem alterações no agrupamento (Anexo 19).

Tabela 9 – ANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Resistência ao Rasgo)

Fonte	Tipo II Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	252,575	23	10,982	8,405	,000
Ordenada na origem	6584,527	1	6584,527	5039,661	,000
<i>matériaPrima</i>	43,180	2	21,590	16,524	,000
<i>granuloMetria</i>	16,060	1	16,060	12,292	,001
<i>composição</i>	129,167	3	43,056	32,954	,000
<i>matériaPrima * granuloMetria</i>	24,646	2	12,323	9,432	,000
<i>matériaPrima * composição</i>	18,890	6	3,148	2,410	,033
<i>granuloMetria * composição</i>	8,724	3	2,908	2,226	,090
<i>matériaPrima * granuloMetria * composição</i>	11,908	6	1,985	1,519	,180
Erro	125,428	96	1,307		
Total	6962,530	120			
Total corrigido	378,003	119			

Mais uma vez verifica-se o agrupamento entre A25 e A50, bem como entre A100 e A150 (Tabela 10) que reflecte a similaridade das propriedades físicas do objeto de estudo - no caso particular da Resistência ao Rasgo, dentro dos subconjuntos homogêneos, tendo em conta que as médias entre estes conjuntos distinguem-se significativamente ($p\text{-value}=0,00$, Anexo 17). Além disso, é importante notar que a homogeneidade dentro do subconjunto A25 e A50 é praticamente o dobro do subconjunto A100 e A150 (Tabela 10), e tem aproximação à homogeneidade total (ou seja, o valor de Sig. tende para 1).

Tabela 10 – ANOVA: Subconjuntos homogêneos (Resistência ao Rasgo)

Tukey HSD^{a,b}

<i>matériaPrima</i>	N	Subconjunto	
		1	2
MP1	40	6,850	8,240
MP3	40	7,133	
MP2	40		
Sig.		,513	1,000

<i>composição</i>	N	Subconjunto	
		1	2
A100	30	6,153	8,340 8,520
A150	30	6,617	
A25	30		
A50	30		
Sig.		,401	,929

Através do teste de comparações múltiplas (Anexo 17) verificou-se que, para a Resistência ao Rasgo, não há uma diferença significativa entre as *MP1* e *MP3* e, assim, eles representam um conjunto homogêneo (Tabela 10).

Uma nova abordagem ao problema, recorrendo à MANOVA, não resultou na alteração do agrupamento dos subconjuntos, embora se tenha verificado o aumento da homogeneidade dentro dos subconjuntos (Anexo 19).

De forma a simplificar a observação dos dados, decidiu-se agrupar os resultados obtidos durante o estudo numa forma tabular (Tabela 12) e fazer uma distinção do grau de significância utilizando para isso os símbolos propostos (Tabela 11).

Tabela 11 – Notação do grau de significância do teste

<i>p-value</i>	Descrição	Notação
1	2	3
> 0,05	Estatisticamente não significativo	NS
0,01 – 0,05	Estatisticamente Significativo a 5% e não a 1%	*
0,001 – 0,01	Estatisticamente Significativo a 1% e não a 0.1%	**
< 0,001	Estatisticamente Significativo a 0.1%	***

Tabela 12 – Grau de significância dos fatores estudados nas propriedades físicas do MAR

Fatores / inputs do processo produtivo	Propriedades físicas			
	Dureza	Tensão de Rutura	Alongamento de Rutura	Resistência ao Rasgo
1	2	3	4	5
<i>Matéria-prima</i>	***	***	***	***
<i>Granulometria</i>	NS	NS	*	*
<i>Composição</i>	***	*	***	***
<i>Matéria-prima</i> *	***	NS	***	***
<i>Granulometria</i>				
<i>Matéria-prima</i> *	***	**	***	*
<i>Composição</i>				
<i>Granulometria</i> *	***	NS	***	NS
<i>Composição</i>				
<i>Matéria-prima</i> *				
<i>Granulometria</i> *	***	NS	***	NS
<i>Composição</i>				

De acordo com os resultados apresentadas na Tabela 12 conclui-se que:

- A *Matéria-prima* é um fator extremamente significativo para todas as propriedades físicas do MAR.
- A *Composição* fornece uma distinção entre os produtos do MAR menos significativa na medida de *Tensão de Rutura*, sendo extremamente significativa quando se trata das outras propriedades.
- A *Granulometria* não assume tanta importância como a *Matéria-prima* e a *Composição*, uma vez que não provoca diferenças significativas na *Dureza* e *Tensão de Rutura*; quanto ao *Alongamento de Rutura* e à *Resistência ao Rasgo*, essas características do produto MAR estão dependentes deste fator, identificado como significativo.

Convém notar que todos os fatores, quando interagem entre si, implicam alterações extremamente significativas na *Dureza* e a *Alongamento de Rutura*, mas, pelo contrário, são não significativos para a *Tensão de Rutura* (exceto a interação *Matéria-prima* e *Composição* que influencia muito significativamente este fator). No caso da *Resistência ao rasgo*, nem todas as interações dos fatores contribuem na mudança desta propriedade do MAR, ou seja, a interação *Matéria-prima* – *Composição*, bem como a interação de todos os fatores estudados: *Matéria-prima* – *Granulometria* – *Composição*, não são significativas.

De seguida, decidiu-se analisar o nível de distinção dos fatores dentro de cada propriedade do MAR com o fim de determinar a presença de alguma semelhança entre eles – *inputs* do processo produtivo, e encontrar aqueles que são homogêneos.

Para alcançar este objetivo e conseguir retirar conclusões, todos os resultados de ANOVAs são sistematizados e representados sob a forma de um quadro, do tipo matriz simétrica, onde as linhas e colunas representam o conjunto de fatores estudados, nomeadamente a *Matéria-prima* (Tabela 13) e *Composição* (Tabela 14). Na interseção entre as linhas e colunas, que representam as propriedades físicas do cada tipo do MAR, encontram-se as conclusões retiradas quanto à homogeneidade dos conjuntos. Na diagonal superior são indicadas as propriedades do MAR em que os conjuntos são homogêneos, na diagonal inferior o respetivo nível de significância, avaliado por método de *Tukey*.

Tabela 13 – Matriz de igualdade das propriedades físicas do MAR: *Matéria-prima*

<i>Matéria-prima</i>	MP1	MP2	MP3
MP1		Dureza Tensão de Rutura Alongamento de Rutura	Resistência ao Rasgo
MP2	valor de p = 0,052 valor de p = 0,161 valor de p = 0,119		Dureza
MP3	valor de p = 0,513	valor de p = 0,052	

De acordo com os resultados da tabela apresentada acima (Tabela 13), confirma-se a homogeneidade entre as *Matérias-primas MP1 e MP2*, porque em três das quatro medidas (a *Dureza*, a *Tensão de Rutura* e o *Alongamento de Rutura*), não se encontra uma influência significativa ($p\text{-value} > 0,05$) deste fator nas propriedades estudadas do MAR.

Tabela 14 – Matriz de igualdade das propriedades físicas do MAR: Composição

Composição	A25	A50	A100	A150
A25		Tensão de Rutura Resistência ao Rasgo	Tensão de Rutura	
A50	valor de $p = 0,846$ valor de $p = 0,929$			
A100	valor de $p = 0,190$			Dureza Tensão de Rutura Resistência ao Rasgo
A150			valor de $p = 0,341$ valor de $p = 0,886$ valor de $p = 0,401$	

Para o fator *Composição* (Tabela 14), verifica-se um alto nível de homogeneidade entre as A25 e A50 no caso da *Tensão de Rutura* (quase 85%) e da *Resistência ao rasgo* (cerca de 93%), o que significa que não há uma influência significativa destes dois tipos de Composição no resultado destas propriedades físicas do MAR. No caso das outras duas propriedades estudadas (a *Dureza* e o *Alongamento de Rutura*) há uma distinção significativa entre as A25 e A50. Para além disso, verifica-se uma maior homogeneidade entre A100 e A150, porque, para além de não terem uma influência significativa na *Tensão de Rutura* e na *Resistência ao rasgo* (como acontece para os conjunto A25 e A50 anterior), averigua-se também uma influência pouco significativa na *Dureza*.

Essas tendências confirmam-se com os resultados da Tabela e dos Gráficos das médias (Anexo 7, Anexo 8): a *Dureza* e o *Alongamento de Rutura* têm uma igualdade entre A25-A50 e A100-A150, mas o *Alongamento* tem a razão inversa à *Dureza* (quando os valores de *Dureza* aumentam, o *Alongamento* diminui); a *Tensão de Rutura* depende da *Matéria-prima*, ou seja, os resultados do teste a MP3 representam um valor significativamente baixo, mas, ao mesmo tempo, as médias de MP1 e MP2 são aproximadas, como acontece com A25-A50 e A100-A150. As médias da *Resistência ao Rasgo* são semelhantes entre os conjuntos A25-A100 e A100-A150, mas dependem significativamente da *Granulometria*: na maioria das observações G1 apresenta os resultados mais altos do que G2.

4.3. Avaliação das inter-relações das propriedades físicas do MAR.

Antes de começar uma Análise Fatorial é necessário confirmar todos os pressupostos exigidos para esta ferramenta estatística. Conforme os resultados dos testes de Homogeneidade e Esfericidade confirma-se que:

- 1) A Dureza, Tensão de Rutura e Alongamento de Rutura são as variâncias homogêneas (Anexo 12);
- 2) Há algumas relações entre as variáveis analisadas, ou seja, a matriz de correlação não é uma matriz de identidade (o teste de Bartlett tem um resultado com Sig.=0,000 <0,05, Tabela 15), o que significa que os dados têm um alto nível de susceptibilidade à Análise Fatorial.
- 3) Apesar destes dois muito bons resultados para a aplicação da Análise Fatorial a este estudo, o teste KMO demonstra um baixo grau de adequação do tamanho da amostra (Tabela 15).

Tabela 15 – Análise Fatorial: Teste de Esfericidade

KMO e Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		,482
Qui-quadrado aprox.		399,077
Teste de esfericidade de Bartlett	df	6
	Sig.	,000

Tabela 16 – Análise Fatorial: Matriz de correlações

Variâncias		DUREZA	TENSÃO de RUTURA	ALONGAMENTO de RUTURA	RESISTÊNCIA ao RASGO
Correlação	DUREZA	1,000	,146	-,958	-,545
	TENSÃO de RUTURA	,146	1,000	,035	,092
	ALONGAMENTO de RUTURA	-,958	,035	1,000	,584
	RESISTÊNCIA ao RASGO	-,545	,092	,584	1,000
Sig.	DUREZA		,055	,000	,000
	TENSÃO de RUTURA	,055		,351	,159
	ALONGAMENTO de RUTURA	,000	,351		,000
	RESISTÊNCIA ao RASGO	,000	,159	,000	

Foram formuladas as hipóteses seguintes:

H_0 : as propriedades físicas do MAR não estão relacionadas.

H_1 : as propriedades físicas do MAR estão relacionadas.

Conforme de Matriz de Correlações obtida através do teste de Pearson (Tabela 16), variável *Dureza* está significativamente correlacionada com o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo*, apresentando um alto nível de significância ($p\text{-value}=0,000 < 0,05$ em ambos os casos). No entanto, a correlação entre a *Dureza* e o *Alongamento* é significativamente maior do que a relação entre a *Dureza* e a *Resistência ao Rasgo* (0,958 - quase 100%, contra 0,545 respetivamente). Além disso, identifica-se o facto de que estas relações são inversas, ou seja: quando os valores de *Dureza* aumentam, os valores de *Alongamento de Rutura* e de *Resistência ao Rasgo* têm tendência a diminuir. Pela lógica, devia existir uma correlação entre *Alongamento de Rutura* e *Resistência ao Rasgo* e este pressuposto confirma-se pelos dados obtidos: estas duas variáveis estão relacionam-se significativamente ($\text{Sig.}=0,000$, Tabela 16).

Tabela 17 – Análise Fatorial: Comunalidades

Variâncias	Inicial	Extração
DUREZA	1,000	,931
TENSÃO de RUTURA	1,000	,971
ALONGAMENTO de RUTURA	1,000	,924
RESISTÊNCIA ao RASGO	1,000	,630

Tabela 18 – Análise Fatorial: Variância total explicada

Componente	Valores próprios iniciais			Σ extração de carregamentos ao quadrado		
	Total	% de variância	% cumulativa	Total	% de variância	% cumulativa
1	2,410	60,254	60,254	2,410	60,254	60,254
2	1,046	26,150	86,403	1,046	26,150	86,403
3	,519	12,969	99,372			
4	,025	,628	100,000			

Note-se que todos os fatores são bem explicados: a *Dureza*, a *Tensão de Rutura* e o *Alongamento de Rutura* com extração superior a 90%, a *Resistência ao Rasgo* é a variável que apresenta pior resultado, com extração de 63% (Tabela 17).

Pelo critério de Kaiser (Tabela 18), observa-se que 86,403% do total da variância pode ser explicada por 2 fatores, o que está confirmado graficamente: duas componentes estão superiores a 1 (Figura 13).

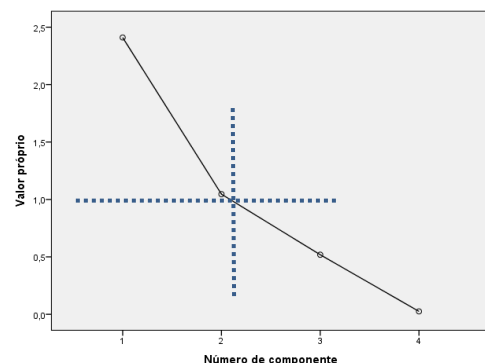


Figura 13 – Análise Fatorial: Gráfico dos valores próprios

Tabela 19 – Análise Fatorial: Matriz dos componentes

Método de rotação: Varimax

Variâncias	Componente		Componente rodada	
	1	2	1	2
DUREZA	-0,950	,168	-0,945	,195
TENSÃO de RUTURA	-,025	,985	,003	,985
ALONGAMENTO de RUTURA	,961	,019	,961	-,009
RESISTÊNCIA ao RASGO	,764	,218	,769	,196

Assim, o fator 1 é formado por três variáveis relacionadas: a *Dureza*, o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo* com coeficientes de correlação 0,95, 0,961 e 0,764, respetivamente. A *Tensão de Rutura* não está relacionada com este conjunto. Novamente, confirma-se o alto nível de relação entre a *Dureza* e o *Alongamento de Rutura* em modo inverso (Tabela 19).

Tabela 20 – Análise Fatorial: Matriz de correlação entre os componentes

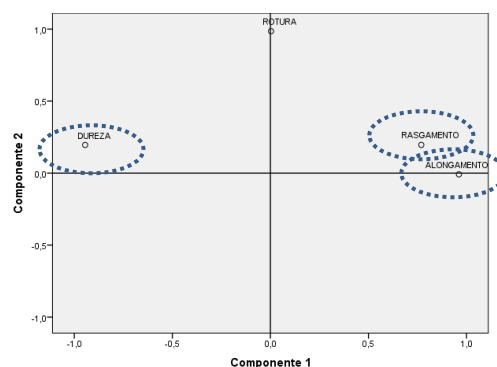
Método de rotação: Varimax

Componente	1	2
1	1,000	-,029
2	,029	1,000

Na tentativa de obter os fatores que facilitem a interpretação dos resultados foi utilizado o Varimax – um método de rotação ortogonal que minimiza o número de variáveis de cada agrupamento.

Os dados obtidos após a rotação mostram que não aconteceram alterações principais no reagrupamento dos fatores (Tabela 19), e que a correlação entre os componentes é baixa (Tabela 20).

Conforme dos resultados obtidos durante da Análise Fatorial e o gráfico apresentado em cima (Figura 14) deteta-se que a *Dureza*, o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência ao Rasgo* são os fatores inter-relacionados.

**Figura 14** – Análise Fatorial: Gráfico de componente em espaço rotacionado

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

O pneu é um produto químico polimérico composto por Borracha, Fuligem (Negro de Fumo), Aço, Têxtil, Óxido de Zinco, Enxofre e Aditivos. No final do seu ciclo da vida o pneu usado é considerado um resíduo sólido e deve ser tratado para evitar a contaminação do ambiente. Uma vez que o processo de degradação natural é demorado, a sua existência torna-se um problema ambiental global. Existem vários métodos de recuperação deste tipo de resíduos, mas, infelizmente, nenhum destes permite resolver totalmente este problema. Embora a reciclagem seja considerada um dos métodos mais apropriados, há que ter em conta a situação económica atual, pelo que a reciclagem deste tipo de resíduos acaba por ser limitada, devido aos custos, por vezes pouco competitivos, do produto final.

Para combater este problema, a RMD lançou no mercado o MAR, um produto feito a partir dos pneus usados previamente triturados ou outros produtos poliméricos, que são submetidos a um processo mecânico que modifica estruturalmente o grão da borracha, dando-lhe uma superfície específica e um grau de desvulcanização ideal, que se designa por pó ativo de borracha. O MAR é um produto que apresenta inúmeras vantagens pelas suas características extraordinárias e variadas aplicações em diferentes áreas: Indústria automóvel, de borracha e peças técnicas, construção, entre outras. Com o objetivo de estudar mais detalhadamente as características e propriedades físicas deste produto, que ainda não tem análogos no mercado, foi levado a cabo este projeto através da utilização de técnicas estatísticas.

Como já foi referido anteriormente, com este estudo pretende-se determinar a dependência das propriedades físicas do MAR (a *Dureza*, a *Tensão de Rutura*, o *Alongamento de Rutura* e a *Resistência do Rasgo*) relativamente a alguns fatores, *inputs* do processo produtivo (tipo de *Matéria-prima*, *Granulometria* e *Composição*). Assim sendo, através da Análise de Variâncias, conclui-se que:

I. Granulometria

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Dureza | não é significativa; |
| 2. Tensão de Rutura | não é significativa; |
| 3. Alongamento de Rutura | é Significativa; |
| 4. Resistência ao Rasgo | é Significativa. |

II. Matéria prima

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Dureza | não há diferença significativa entre MP1-MP2 e MP2-MP3; |
| 2. Tensão de Rutura | não há diferença significativa entre MP1-MP2; |
| 5. Alongamento de Rutura | não há diferença significativa entre MP1-MP2; |
| 3. Resistência ao Rasgo | não há diferença significativa entre MP1-MP3. |

III. Composição

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Dureza | não há diferença significativa entre A100-A150; |
| 2. Tensão de Rutura | não há diferença significativa entre A25-A50, A100-A150; |
| 6. Alongamento de Rutura | é Significativa; |
| 3. Resistência ao Rasgo | não há diferença significativa entre A25-A50, A100-A150. |

De acordo com os resultados obtidos, não é possível dizer qual a melhor *Matéria-prima* ou a *Composição* porque cada cliente tem os seus próprios requisitos, dependendo das propriedades desejáveis do material aplicado. No entanto, os resultados dos testes indicam que não existe uma diferença significativa entre as *Matérias-primas MP1-MP2*, à semelhança do que acontece com as propriedades físicas dos dois conjuntos de *Composição A25-A50* e *A100-A150*. É de realçar o facto de que não há uma diferença significativa entre *MP1-MP3*, só no caso dos resultados de ensaio da Resistência ao Rasgo. A *Granulometria* estudada não tem grande influência na *Dureza* e *Tensão de Rutura*. Para, além disso, a maioria das interações *Granulometria-Matéria-Prima* e *Composição* não são significativas para *Tensão de Rutura* e *Resistência ao Rasgo*.

Durante do estudo foram identificados os seguintes pressupostos e limitações:

- Os dados dos ensaios realizados para análise da *Resistência ao Rasgo* não revelaram à homogeneidade de variâncias, pelo que os resultados de ANOVA devem ser analisados com algumas reservas.
- Outro resultado diz respeito à investigação da variedade do fator de *Composição*, não tendo sido possível confirmar que a diferença entre *A25-A50* e *A100-A150* depende da quantidade de MAR adicionado numa Mistura-base e não da duplicação do grupo vulcanizado nas amostras com carga de MAR 100pp e 150pp.

Numa perspetiva de continuidade do trabalho realizado e com vista ao esclarecimento de algumas dúvidas que foram levantadas ao longo deste trabalho e confirmação dos resultados, recomenda-se:

- Continuar o estudo das propriedades do MAR, abrangendo uma maior variabilidade dentro dos fatores especificados: *Matéria-prima*, *Granulometria*, *Composição*, e aumentando a quantidade das amostras estatísticas.
- Verificar a calibração do equipamento laboratorial predestinado para fazer os ensaios da Resistência ao Rasgo e se for encontrado incumprimento das normas ISO, recalibrá-lo e repetir as análises, ou seja, comprovar os resultados obtidos anteriormente.
- Estudar mais detalhadamente as propriedades das Misturas-base.
- Estudar o comportamento do MAR relativamente a outra a Misturas-Base, diferentes das que já foram estudadas.
- Comparar os resultados deste estudo com os novos resultados, obtidos depois das alterações feitas conforme as recomendações precedentes, para identificar as diferenças significativas e as causas provocadas.

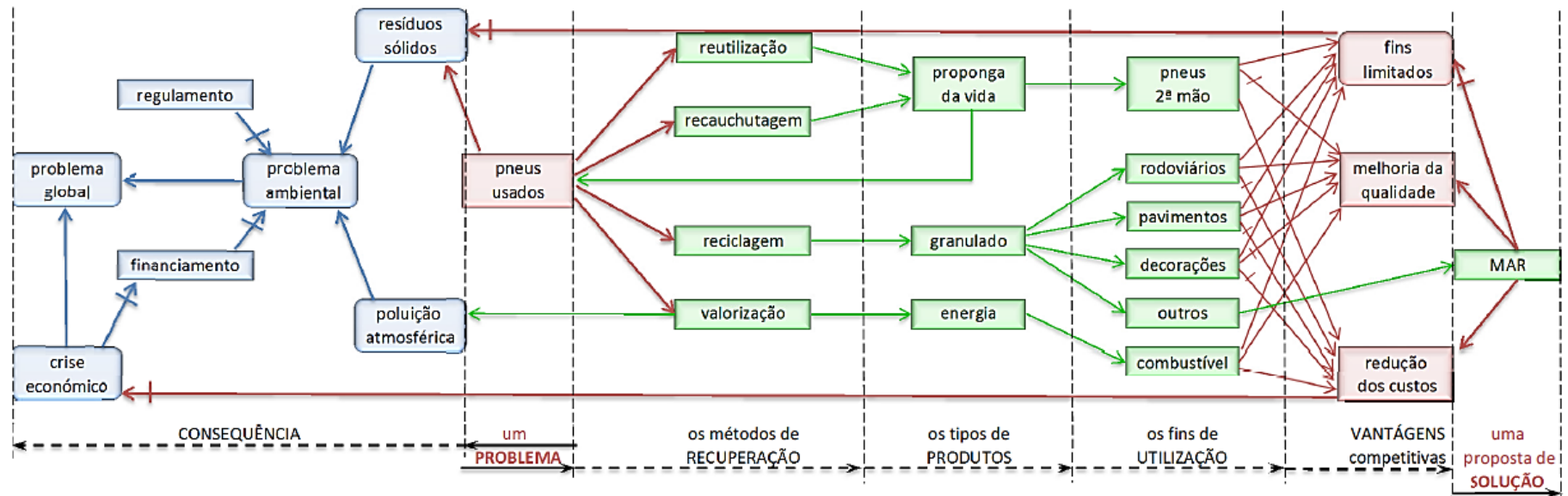
REFERÊNCIAS

1. Allen, T. T. (2006). Introduction to Engineering Statistics And Six Sigma: Statistical Quality Control And Design of Experiments And Systems, Springer.
2. ANIP – Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. "Quase 200 anos de tecnologia." 2013, from <http://www.anip.com.br>.
3. ASQ - American Society for Quality. "Seven Basic Quality Tools." 2013, from <http://asq.org>.
4. ASQ - American Society for Quality (Abril 2012). "Beyond the Basics: Seven new quality tools help innovate, communicate and plan." Quality Progress: 18-29.
5. Bakke, H. A., A. S. Moura, et al. (2008). "Estatística Multivariada: Aplicação da Análise Fatorial na Engenharia de produção." Revista Gestão Industrial **4**(4): 1-14.
6. Barçante, L. C. (1998). Qualidade total uma visão brasileira: o impacto estrategico na universidade e na empresa, Campus.
7. Basel Convention (1999). Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres. Basel, Switzerland: 41.
8. Bayer, A., H. Bittencourt, et al. (2004). A Estatística e sua história. XII Simpósio Sulbrasileiro de Ensino de Ciências. Canoas: 6.
9. Bunney, H. S. and B. G. Dale (1997). "The implementation of quality management tools and techniques: a study." The TQM Magazine **9**(3): 183-189.
10. ETRMA – European Tyre & Rubber Manufacturers' Association. 2013, from <http://www.etrma.org>.
11. Guimarães, R. C. and J. S. Cabral (2007). Estatística. Lisboa, McGraw-Hill.
12. Hair, J. F., R. E. Anderson, et al. (2007). Análise Multivariada de Dados, Bookman.
13. ISO 1629 (1995). Rubber and rubber products. Nomenclature: 4.
14. ISO 34-1 (2010). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 1: Trouser, angle and crescent test pieces: 13.
15. ISO 34-2 (2011). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tear strength. Part 2: Small (Delft) test pieces: 13.
16. ISO 37 (2011). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of tensile stress-strain properties: 37.
17. ISO 7619-1 (2010). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of indentation hardness. Part 1: Durometer method (Shore hardness): 10.
18. ISO 7619-2 (2010). Rubber, vulcanized or thermoplastic. Determination of indentation hardness. Part 2: IRHD pocket meter method: 5.
19. Juran, J. M. and A. B. Godfrey (1999). Juran's Quality Handbook (5th Edition), McGraw-Hill.
20. Kaltenecker, E. (1995). Qualidade Segundo Garvin. São Paulo, Annablume.

21. Larson, R. and B. Farber (2010). Estatística Aplicada Prentice Hall, 4ª ed, São Paulo: Pearson.
22. LoveToKnow Corporation. YourDictionary. Burlingame, Califórnia, Estados Unidos.
23. Michelin Corporate. "Discover Michelin's rich history." 2013, from <http://www.michelin.com>.
24. Montgomery, D. C. (2009). Introduction to statistical quality control. Hoboken, N.J., Wiley.
25. Nankook Tyre Co. LTda. "Guia tecnologico do pneu. Tipos de pneu. Classificação de acordo com a estrutura.", from <http://www.hankooktire.com.br>.
26. NP EN ISO 9000 (2005). Sistemas de Gestão de Qualidade. Fundamentos e vocabulário: 41.
27. QualityGurus.net. "Quality Handbook." History of Quality, 2013, from <http://www.qualitygurus.net>.
28. Reid, R. D. and N. R. Sanders (2009). Operations Management, Wiley.
29. RMD - Recuperación Materiales Diversos S.A. Manual básico de orientación. El Reciclado de neumáticos fuera de uso.: 9.
30. RMD - Recuperación Materiales Diversos S.A. Manual del Empleado R.M.D. Política de Calidad RMD.
31. Samohyl, R. W. (2009). Controle Estatístico de Qualidade, Elsevier Editora.
32. Silva, A. C., C. A. N. Wanderley, et al. (2010). "Utilização de ferramentas estatísticas em artigos sobre Contabilidade Financeira – um estudo quantitativo em três congressos realizados no país." Revista Contemporânea em Contabilidade **7**(Julio-Diciembre): 11-28.
33. SPE - Sociedade Portuguesa de Estatística and SEAUL - Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa (2013). Estatísticos promovem contributos à sociedade durante o ano Internacional da Estatística em 2013. Lisboa: 3.
34. Statistics2013.org. (2013). "International year of Statistics." from <http://www.statistics2013.org/>.
35. Suarez, J. G. (1992). Three Experts on Quality Management: Philip B. Crosby, W. Edwards Deming, Joseph M. Juran, DTIC Document.
36. UA - Universidade de Aveiro. "2013 Ano Internacional de Estatística." from <http://www.ua.pt/isca>.
37. Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus Lda. 2013, from <http://www.valorpneu.pt>.
38. Государственный Комитет СССР по стандартам (1979). Каучуки синтетические бутадиен-метилстирольный СКМС-30АРКМ-15 и бутадиен-стирольный СКС-30АРКМ-15. Технические условия. ГОСТ 11138-78: 188.

ANEXOS

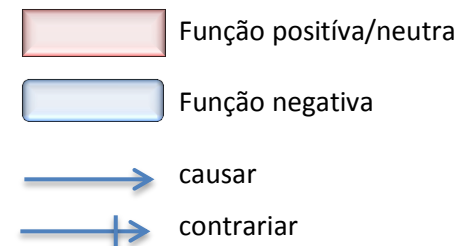
Anexo 1 – Atualidade do problema de investigação



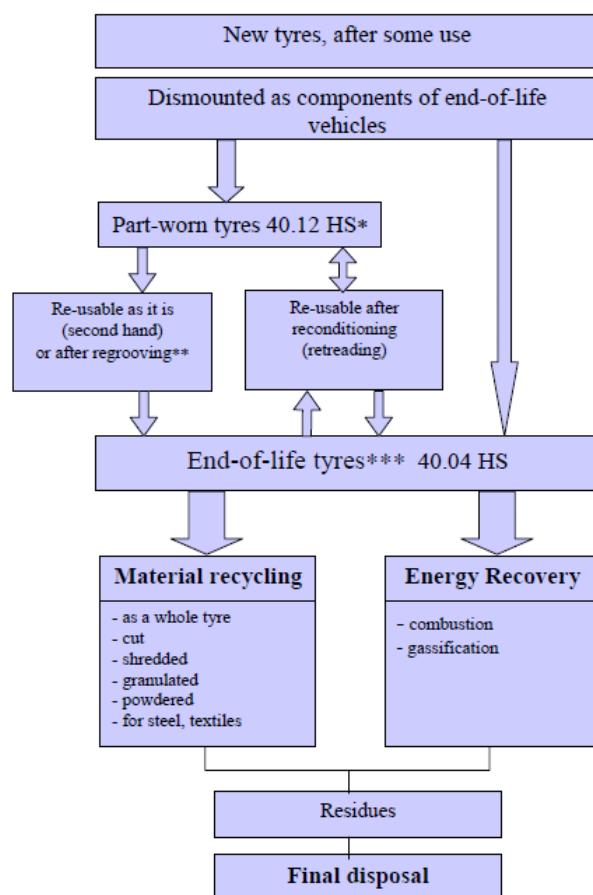
Notas:

utilização	alternativa	fins	qualidade	preço	notas
pneus: 2ª mão	novos	limitados	pior	menor	menor ciclo da vida
rodoviários	asfaltada	limitados	melhor	maior	melhor propriedade
pavimentos	diversos	limitados	melhor	maior	maior segurança
decorações	diversos	limitados	adequado	compatível	mais pesado, menos liso, handwork
outros	MAR	ilimitados	exigente	menor	utilização como uma matéria-prima
combustível	fóssil	limitados	suficiente	menor	PCI=carvão; tem poluição atmosférica

Legenda:



Anexo 2 – A identificação das diversas categorias de pneus usados
(Fonte: Basel Convention 1999)



Anexo 3 – Composição de Pneus Ligeiros e Pesados
(Fonte: Basel Convention 1999)

Material	Tipo do pneu	
	Ligeiro	Pesado
Borracha	47%	45%
Negro de Fumo	21,5%	22%
Aço	16,5%	25%
Têxtil	5,5%	--
Óxido de Zinco	1%	2%
Enxofre	1%	1%
Aditivos	7,5%	5%

Anexo 4 – Historia de Qualidade

(Adaptado: QualityGurus.net ; Barçante 1998)

Data	Autor / Instituto	Eventos
1	2	3
<i>Era da INSPEÇÃO: Qualidade com FOCO NO PRODUTO</i>		
1901	Sir John Wolfe-Barry	Foi formado um comité para considerar a padronização de ferro e perfis de aço.
1911	Frederick W. Taylor	Publicado " <i>The Principles of Scientific Management</i> ".
<i>Era do CONTROLO ESTATÍSTICO: Qualidade com FOCO NO PROCESSO</i>		
1924	Walter A. Shewhart	Desenvolvidas as cartas de controlo e os princípios do Controlo Estatístico de Processos .
1925	Sir Ronald Fisher	Publicado " <i>Statistical Methods for Research Workers</i> " e introduzido o conceito de ANOVA .
1937	Joseph Juran	Apresentado o princípio de Pareto
1940	H. Dodge, H. Roming	Desenvolvido o plano amostral de aceitação (<i>acceptance sampling plan</i>).
1943	Kaoru Ishikawa	Desenvolvido o diagrama de causa e efeito (também conhecido como diagrama espinha de peixe).
1946	JUSE, ISO, ASQC	Japanese Union of Scientists/International Organization for Standardization/ American Society for Quality.
1947	Dr Edwards Deming	Foi enviado para o Japão para ajudar os japoneses a renovar as suas indústrias.
<i>Era da GARANTIA: Qualidade com FOCO NO SISTEMA</i>		
1950	Genrich Altshuller	Desenvolvida uma teoria da Solução Inventiva de Problemas (<i>theory of inventive problem solving</i> , TRIZ).
1950	Dr Edwards Deming	Publicado o ciclo PDCA : <i>Deming cycle, Shewhart cycle, control cycle, or Plan–Do–Study–Act</i> (PDSA).

Data	Autor / Instituto	Eventos
1	2	3
1951	Dr Edwards Deming	Instituído o Prémio de Deming.
1951	Joseph Juran	Publicado a primeira edição do " <i>Quality Control Handbook</i> ".
1954	Joseph Juran	Foi convidado ao Japão.
1960	Japan	Os 1 ^{os} círculos de controlo de qualidade (<i>quality control circles</i>) foram formados e foram utilizados métodos estatísticos para melhoria da qualidade
1960s	Kaizen	O conceito foi desenvolvido.
1961-1964	Poka Yoke	O conceito foi desenvolvido por Shingeo Shingo.
1966	Dr. Yoji Akao	Introduzida uma metodologia de <i>Quality Function Deployment</i> (QFD).
1968	Kaoru Ishikawa	Publicado " <i>Guide to Quality Control</i> "
1969	Dr. Shingo Shigeo	Como parte do JIT, foi um pioneiro no conceito de <i>Single Minute Exchange of Dies</i> .
1969	Kaoru Ishikawa	Enfatizado o uso Sete Ferramentas da Qualidade (<i>Seven Quality Tools</i>)
1969	Tokyo	O 1º Congresso Internacional de Controlo de Qualidade (pela União de Cientistas e Engenheiros Japoneses)
		Era da GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL (TQM) - Qualidade com FOCO NO NEGÓCIO
1970s	Dr. Taguchi	Promoveu o conceito de Função de Perda de Qualidade (<i>Quality Loss Function</i>).
1977	IAQC	A Associação Internacional de Círculos de Qualidade (<i>Association International for Quality Circles</i>) foi fundada.
1979	BS	Emitido 5750 e foi mais tarde substituído pela norma ISO 9001:1987.
1979	Philip Crosby	Publicado " <i>Quality is Free</i> ".

Data	Autor / Instituto	Eventos
1	2	3
1980	Dr. Taguchi	Formulado o Desenho de Experiências (<i>Design of Experiments</i>)
1980s	Pr. Noriaki Kano	Desenvolvido o modelo de Kano que classifica as preferências do cliente em cinco categorias
1982	Dr Edwards Deming	Em " <i>Out of the Crisis</i> ", oferecida uma teoria de gestão baseada em famosos 14 pontos para a gestão.
1986	Bill Smith, Motorola	Formulado o conceito de Seis Sigma (<i>Six Sigma</i>)
1986	Masaaki Imai	Fundado o Instituto de Kaizen para ajudar as empresas a introduzir os conceitos, sistemas e ferramentas propostos por ele.
1987	ISO	Emitida a primeira versão da série <i>ISO 9000</i> ; 1994-2 nd , 2000-3 rd , 2008-4 th
1987	MBNQA	<i>Malcolm Baldrige National Quality Award</i> foi criada.
1988	Motorola	Tornou-se a primeira empresa a vencer <i>Malcolm Baldrige National Quality Award</i> .
1988	EFQM	<i>Fundação Europeia</i> para a Gestão da Qualidade foi criada (14 empresas europeias)
1994	Big Three' automakers	<i>Desenvolvida Norma 9000 de Qualidade</i> por um esforço conjunto da General Motors - Chrysler
1995	General Electric (GE)	Lançada a iniciativa Seis Sigma (<i>Six Sigma</i>).
1999	ISO	ISO/TS 16949 1 ^o edição Edition foi lançado.







Anexo 5 – Processos tecnológicos: Controlo de Qualidade






Processo	Equipamento	Ponto crítico	Nível	Consequência	Resolução
1	2	3	4	5	6
TODOS os PROCESSOS TECNOLÓGICOS					
1. Transporte	Cinta Pneumático	Velocidade	Alta	Sobrecarga de moinho	Otimização da linha tecnológica
			Baixa	Sobrecarga de transportador	
		Potência	Alta	Perdas pouco razoáveis	
			Baixa	Processo não contínuo	
2. Armazenamento	Local	Humidade	Alta	Agregação das partículas	Prever o armazenamento fechado
		Limpeza	Baixa	Desgaste das embalagens	Efetuar a limpeza periódica
3. Embalagem	Bigbages	Capacidade	Não suficiente	Desperdícios de materiais	Evitar a sobrecarga
		Caducidade	Alto	Fragilidade da embalagem	Controlo do estado
4. Alimentação	Contentor Funil	Capacidade	Grande	Perdas pouco razoáveis	Otimização da linha tecnológica
			Pequeno	Sobrecarga do contentor/funil	
Processo prévio: SELEÇÃO DOS PNEUS					
5. Inspeção Classificação	Visual	Errado	Baixo	Não conformidade com os requisitos	Efetuar o controlo do processo
			Alto	Não conformidade com os requisitos	Rever os critérios de escolha
Processos primários: TRITURAÇÃO – PRÉ-GRANULAÇÃO - GRANULAÇÃO					
6. Separação	Íman	Distância	Grande	Produto final contaminado	Otimização da linha tecnológica
			Pequena	Desperdícios dos materiais	
		Velocidade	Alta	Produto final contaminado	
			Baixa	Produto final contaminado	



Processo	Equipamento	Ponto crítico	Nível	Consequência	Resolução
1	2	3	4	5	6
7. Trituração Pré-granulação Granulação	Triturador	Lâminas	Desgastadas	Superfície comprimida	Efetuar o controlo do estado
			Configuração	Processo insuficiente	
		Temperatura	Alta	Agregação das partículas	Controlo do Sistema de arrefecimento
8. Classificação	Crivo	Vibração	Alta	Desperdícios dos materiais	Otimização da linha tecnológica
			Baixa	Processo insuficiente	
		Limpeza	Baixa	Produto final contaminado	Controlo visual periódico
		Dimensão	Inapropriado	Não conformidade aos requisitos	Controlo de granulometria periódico
Processos avançados: PINTURA, FIGURAS DECORATICAS / URBANAS					
9. Pintura	Rotor	Velocidade	Alta	Heterogeneidade da pintura	Regulação de velocidade
			Baixa	Heterogeneidade da pintura	
		Tempo	Pouco	Heterogeneidade da pintura	Efetuar o controlo do tempo
			Muito	Pode colar-se	
	Tinta	Qualidade	Não suficiente	Degradação de cor	Usar o estabilizador adicional
				Desgasta-se rápido	Otimizar a QT das camadas
				Não entra em reação	Prever composição diferente
				Resultados escuros / claros	Prever uma camada-base
		Quantidade	Pouco	Heterogeneidade da pintura	Aperfeiçoar o processo
			Muito	Estratificação das camadas	
		Pulverização	Não uniforme	Heterogeneidade da pintura	Efetuar a limpeza dos filtros

Processo	Equipamento	Ponto crítico	Nível	Consequência	Resolução
1	2	3	4	5	6
10.Secagem	Tambor	Velocidade	Alta	Heterogeneidade da pintura	Regulação de velocidade
			Baixa	Colagem das partículas	
		Temperatura	Não suficiente	Superfície fissurada /Heterogeneidade	Regulação da temperatura
11.Figuras	Moldes	Superfície	Rugoso	Aspeto visual não uniforme	Otimização da linha tecnológica
		Encaixe	Incompleto	Aglomeração não uniforme	
		Aquecimento	Heterogéneo	Aglomeração não uniforme	
	Cola	Qualidade	Não suficiente	Não aglomeração do granulado	Prever composição diferente
		Quantidade	Pouco	Granulado não se aglomera	Otimização da receita
			Muito	Dureza elevada	
PROCESSO PILOTO: MICRONIZAÇÃO					
12.Moagem	Discos	Material	Tipo	Impossibilidade de moagem	Otimização do processo tecnológico
		Qualidade	Baixa	Aquecimento do material	
		Superfície	Não uniforme	Ativação insuficiente	
		Contiguidade	Não uniforme	Ativação insuficiente	
		Velocidade	Alto	Aquecimento do material	Regulação de velocidade
			Baixo	Moagem insuficiente	
		Temperatura	Alta	Aquecimento do material	Controlo do Sistema de arrefecimento

Anexo 6 – Uma gama e as características dos produtos produzidos na RMD

Marca	Tipo *	Granulometria, mm	Gama ** de cores	Descrição / Benefícios
1		2	3	4
ÁREAS DESPORTIVAS				
1. 	P	0,6-2,0 0,8-2,5	base 5	O grão de borracha é a melhor opção para o recheio de campos de gama sintética. Disponível em diferentes cores, representando uma estética, além de fornecer o produto com muitas vantagens, incluindo a durabilidade contra o desgaste e resistência ao calor. Adequado para uso com diferentes alturas e densidade de relva sintética de acordo com o desporto a que se destina.
2. 	P	1,0-3,5	5 +	Conforto, resistência, aderência, flexibilidade e roçamento são algumas das variáveis estudadas para obter um produto de máxima qualidade para a prática de diferentes desportos.
3. 	S			Sistema elástico de uma só capa de borracha embuchada de cor, coberto com resina de poliuretano, versátil para usar em diferentes pistas de atletismo e certificado por a IAAF.
4. 	S			Pavimento que se instala diretamente em cima do cimento poroso ou alcatrão com a espessura total de 15 mm; montagem de pistas de vários desportos <i>outdoor</i> na zona de aquecimento de corpo.
5. 	P	2,0-7,0	5 + base	Superfície elástica de borracha que é usada como uma camada de base para outras superfícies, dando-lhe a força e elasticidade; para a realização de todo tipo de bases elásticas misturadas com resinas de poliuretano em percentagens variadas conforme ao uso; pode usar-se em diferentes espessuras para o adequado comportamento elástico e a utilização desejada.
6. RESINA	P	-	base	É uma resina forte e resistente com boa estabilidade dimensional e altas propriedades isoladoras, normalmente utilizada como um aglutinante para a instalação do chão “in sítio”.
PARQUES INFANTIS				
7. 	S			É um sistema bi-camada contínuo de pavimento: a primeira é uma base elástica (<i>elastech</i>) e a exterior é uma camada mais resistente e de cor (<i>tracktech</i>), aplicada diretamente “in sítio” e contribui para a segurança das crianças.

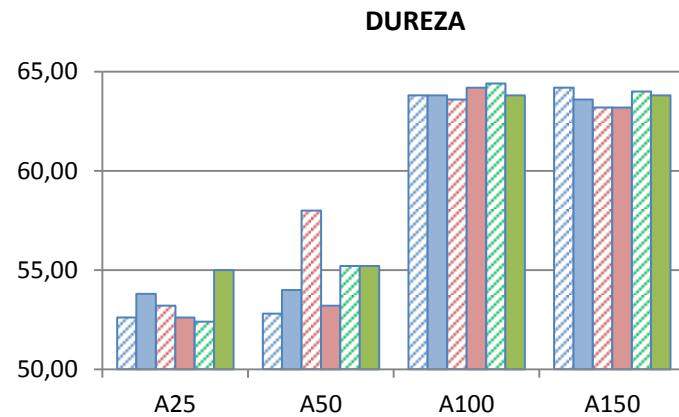
Marca	Tipo *	Granulometria, mm	Gama ** de cores	Descrição / Benefícios
1		2	3	4
8. EPDM	P	1,0-3,5	20 +	A borracha de etileno-propileno-dieno (EPDM) e outro dos materiais disponíveis como acabado para a realização de pavimentos em contínuo para parques infantis.
9. 	C	0,6-2,0	+	Figuras decorativas feitas de borracha reciclada para parques infantis, infantários, jardins e outros fins, coloridas e divertidas, resistentes às intempéries e condições climáticas extremas, ao uso intensivo e são seguras para as crianças.
EQUIPAMENTO URBANO / JARDINAGEM				
10. 	C	0,6-2,0	base	Elementos para equipamentos urbanos feitos a partir de borracha, que permitem evitar danos nos veículos em caso de contato acidental e possíveis lesões nos peões em caso de quedas e golpes. Têm as seguintes propriedades físicas: larga durabilidade e resistência, assim como resistência às intempéries.
11. 	C	0,6-2,0 +	base	Elementos decorativos feitos a partir de borracha reciclada que possam ser coloridos conforme os pedidos do cliente.
12. 	P	16,0-25,0	7	Cortiça decorativa feita com grão de borracha reciclada com os benefícios seguintes: 1) é um substituto da cortiça de pinho tradicional, mas oferece uma maior variedade de cores e tem uma maior resistência e durabilidade; 2) as áreas públicas mudam a sua aparência de forma elegante e integrada na cidade e sem necessidade de manutenção posterior; 3) faz uma realidade a confeção de imagens, logótipos ou mensagens em áreas tais como jardins, rotundas e canteiros de flores.
13. 	S		2	Sistema completo para ciclovias, composto por uma superfície de borracha (<i>tractech-multisporte</i>) e elementos de sinalização e proteção, constituídos igualmente por borracha; destaca-se a resistência e flexibilidade do sistema evitando danos nos utilizadores em caso de quedas.

Marca	Tipo *	Granulometria, mm	Gama ** de cores	Descrição / Benefícios
1		2	3	4
14. 	S		7	É um sistema elástico de borracha (<i>elastech/trachtech + resina</i>) para decoração das covas das árvores, que impede a acumulação de sujidade nestas zonas, evitando tropeções e possíveis acidentes dos peões. Totalmente inócuo para a árvore, permite o desenvolvimento normal do tronco por ser um material flexível e de drenagem, permitindo que a água passe.
15. VASOS DE JARDIM	C	0,6-2,0	+	Estes vasos oferecem todas as propriedades da borracha reciclada ao serviço da decoração: são altamente resistentes às intempéries e variações de temperatura; resistentes e flexíveis, sendo extremamente difícil quebrá-los; é um material drenante, sendo que não necessita de furos de drenagem, impedindo a sujidade das superfícies devido à irrigação. Existe uma grande variedade de modelos e dimensões, soluções estéticas para particulares, profissionais e áreas públicas.
PAVIMENTOS ANIMAIS				
16.  Sheeptech Cowtech	P P P	8,0-20,0		Grânulos de borracha para as pistas de equitação, estábulos, etc. Pavimento contínuo para espaços de ordenha de ovelhas, zonas de passagem, etc. Pavimento contínuo de borracha para bovinos.
BORRACHA MICRONIZADA				
17. MAR	P	0,0-0,5 0,0-0,65	base	Uma tecnologia inovadora que permita voltar a incorporar pó de borracha como matéria-prima para as misturas de borrachas virgens com resultados extraordinários, uma vez que é um material pré-devulcanizado, com alta superfície específica.
	* S C ** +	<i>É um produto</i> <i>É um sistema</i> <i>É uma composição</i> <i>Produto é colorido</i>		

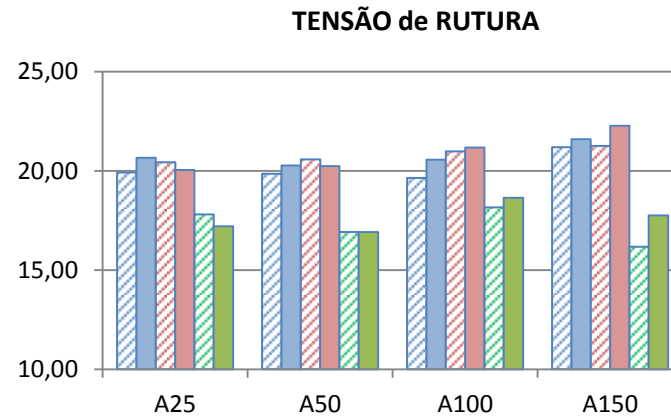
Anexo 7 – Propriedades do MAR: comparação dos médios

	Os médios / Nº das replicas	MP1				MP2				MP3			
		A25	A50	A100	A150	A25	A50	A100	A150	A25	A50	A100	A150
G1	DUREZA												
	χ N	52,60 5	52,80 5	63,80 5	64,20 5	53,20 5	58,00 5	63,60 5	63,20 5	52,40 5	55,20 5	64,40 5	64,00 5
	TENSÃO de RUTURA												
	χ N	19,92 5	19,86 5	19,64 5	21,20 5	20,44 5	20,58 5	20,98 5	21,26 5	17,80 5	16,92 5	18,16 5	16,18 5
	ALONGAMENTO de RUTURA												
	χ N	393,20 5	389,60 5	271,20 5	276,20 5	419,20 5	355,60 5	280,20 5	296,60 5	412,20 5	354,60 5	242,40 5	253,00 5
	RESISTÊNCIA ao RASGO												
	χ N	7,32 5	7,46 5	5,40 5	6,48 5	10,84 5	9,68 5	7,61 5	8,52 5	9,12 5	9,82 5	5,58 5	5,44 5
G2	DUREZA												
	χ N	53,80 5	54,00 5	63,80 5	63,60 5	52,60 5	53,20 5	64,20 5	63,20 5	55,00 5	55,20 5	63,80 5	63,80 5
	TENSÃO de RUTURA												
	χ N	20,66 5	20,28 5	20,56 5	21,60 5	20,04 5	20,24 5	21,18 5	22,28 5	17,20 5	16,92 5	18,64 5	17,76 5
	ALONGAMENTO de RUTURA												
	χ N	421,40 5	403,60 5	270,40 5	286,20 5	408,60 5	409,00 5	281,00 5	287,20 5	345,40 5	366,40 5	249,00 5	256,40 5
	RESISTÊNCIA ao RASGO												
	χ N	7,78 5	8,02 5	6,14 5	6,20 5	7,20 5	8,18 5	6,52 5	7,36 5	7,78 5	7,96 5	5,66 5	5,70 5

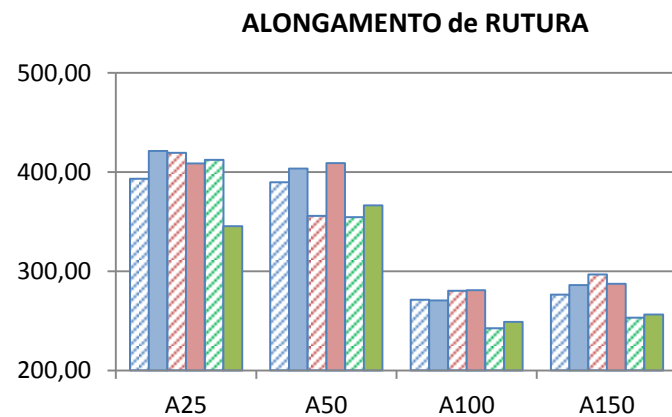
Anexo 8 – Propriedades do MAR: gráficos dos médios



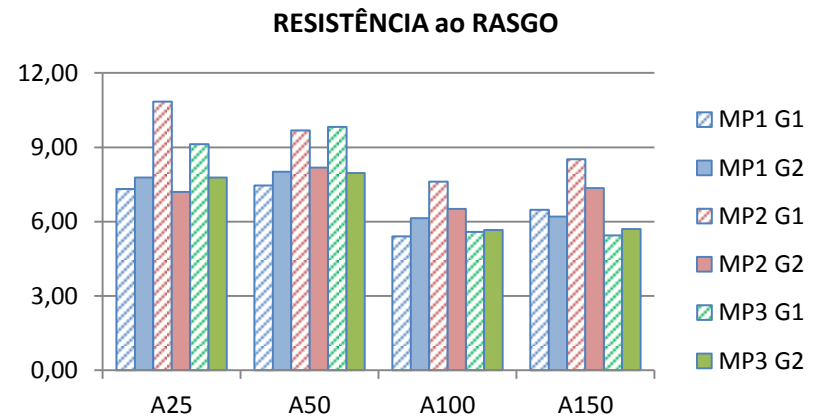
a) Histograma dos médios da Dureza



b) Histograma dos médios da Tensão de Rutura



c) Histograma dos médios do Alongamento de Rutura



d) Histograma dos médios da Resistência ao Rasgo

Anexo 9 – Estatística Descritiva dos ensaios do MAR

Indicador	DUREZA, [ShA]	TENSÃO de RUTURA [kgF]	ALONGAMENTO de RUTURA [mm]	RESISTÊNCIA ao RASGO [kgF]
1	2	3	4	5
N	Válido Ausente	120 0	120 0	120 0
Média	58,900	19,596	330,358	7,408
Mediana	61,000	20,100	321,500	7,100
Moda	64,0	22,0	290,0	5,3 ^a
Desvio padrão	5,0799	1,9038	64,0015	1,7823
Variância	25,805	3,624	4096,198	3,176
Mínimo	51,0	15,1	234,0	4,4
Máximo	65,0	22,5	431,0	12,6
Percentis	25 50 75	54,000 61,000 64,000	18,000 20,100 21,000	274,000 321,500 396,750
				6,025 7,100 8,400

Anexo 10 – ANOVA: Fatores entre assuntos

Fatores	N
<i>matériaPrima</i> MP1	40
MP2	40
MP3	40
<i>granuloMetria</i> G1	60
G2	60
<i>composição</i> A100	30
A150	30
A25	30
A50	30

Anexo 11 – ANOVA: Teste de normalidadeKolmogorov-Smirnov^a

	Estatística	df	Sig.
DUREZA	,290	120	,000
TENSÃO de RUTURA	,116	120	,000
ALONGAMENTO de RUTURA	,203	120	,000
RESISTÊNCIA ao RASGO	,093	120	,012

Anexo 12 – ANOVA: Teste de homogeneidade

Levene

Variâncias	F	df1	df2	Sig.
DUREZA	1,595	23	96	,061
TENSÃO de RUTURA	1,247	23	96	,226
ALONGAMENTO de RUTURA	1,459	23	96	,105
RESISTÊNCIA ao RASGO	2,232	23	96	,004

Anexo 13 – MANOVA: Teste de homogeneidade

Levene

Variâncias	F	df1	df2	Sig.
TENSÃO de RUTURA	,627	23	96	,900
RESISTÊNCIA ao RASGO	1,333	23	96	,168

Anexo 14 – ANOVA: Comparações múltiplas (Dureza)

(I) matériaPrima	(J) matériaPrima	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Lim. inferior	Lim. superior
MP1	MP2	-,325	,1377	,052	-,653	,003
	MP3	-,650	,1377	,000	-,978	-,322
MP2	MP1	,325	,1377	,052	-,003	,653
	MP3	-,325	,1377	,052	-,653	,003
MP3	MP1	,650	,1377	,000	,322	,978
	MP2	,325	,1377	,052	-,003	,653

(I) composição (J) composição

A100	A150	,267	,1590	,341	-,149	,682
	A25	10,667	,1590	,000	10,251	11,082
	A50	9,200	,1590	,000	8,784	9,616
A150	A100	-,267	,1590	,341	-,682	,149
	A25	10,400	,1590	,000	9,984	10,816
	A50	8,933	,1590	,000	8,518	9,349
A25	A100	-10,667	,1590	,000	-11,082	-10,251
	A150	-10,400	,1590	,000	-10,816	-9,984
	A50	-1,467	,1590	,000	-1,882	-1,051
A50	A100	-9,200	,1590	,000	-9,616	-8,784
	A150	-8,933	,1590	,000	-9,349	-8,518
	A25	1,467	,1590	,000	1,051	1,882

Anexo 15 – ANOVA: Comparações múltiplas (Tensão de Rutura)

(I) matériaPrima	(J) matériaPrima	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Lim. inferior	Lim. superior
MP1	MP2	-,410	,2223	,161	-,939	,119
	MP3	3,018	,2223	,000	2,488	3,547
MP2	MP1	,410	,2223	,161	-,119	,939
	MP3	3,428	,2223	,000	2,898	3,957
MP3	MP1	-3,018	,2223	,000	-3,547	-2,488
	MP2	-3,428	,2223	,000	-3,957	-2,898

(I) composição (J) composição

A100	A150	-,187	,2567	,886	-,858	,484
	A25	,517	,2567	,190	-,154	1,188
	A50	,727	,2567	,028	,056	1,398
A150	A100	,187	,2567	,886	-,484	,858
	A25	,703	,2567	,036	,032	1,374
	A50	,913	,2567	,003	,242	1,584
A25	A100	-,517	,2567	,190	-1,188	,154
	A150	-,703	,2567	,036	-1,374	-,032
	A50	,210	,2567	,846	-,461	,881
A50	A100	-,727	,2567	,028	-1,398	-,056
	A150	-,913	,2567	,003	-1,584	-,242
	A25	-,210	,2567	,846	-,881	,461

Anexo 16 – ANOVA: Comparações múltiplas (Alongamento de Rutura)

(I) matériaPrima (J) matériaPrima		Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Lim. inferior	Lim. superior
MP1	MP2	-3,200	1,6045	,119	-7,020	,620
	MP3	29,050	1,6045	,000	25,230	32,870
MP2	MP1	3,200	1,6045	,119	-,620	7,020
	MP3	32,250	1,6045	,000	28,430	36,070
MP3	MP1	-29,050	1,6045	,000	-32,870	-25,230
	MP2	-32,250	1,6045	,000	-36,070	-28,430

(I) composição (J) composição

A100	A150	-10,233	1,8527	,000	-15,077	-5,389
	A25	-134,300	1,8527	,000	-139,144	-129,456
	A50	-114,100	1,8527	,000	-118,944	-109,256
A150	A100	10,233	1,8527	,000	5,389	15,077
	A25	-124,067	1,8527	,000	-128,911	-119,223
	A50	-103,867	1,8527	,000	-108,711	-99,023
A25	A100	134,300	1,8527	,000	129,456	139,144
	A150	124,067	1,8527	,000	119,223	128,911
	A50	20,200	1,8527	,000	15,356	25,044
A50	A100	114,100	1,8527	,000	109,256	118,944
	A150	103,867	1,8527	,000	99,023	108,711
	A25	-20,200	1,8527	,000	-25,044	-15,356

Anexo 17 – ANOVA: Comparações múltiplas (Resistência ao Rasgo)

(I) matériaPrima (J) matériaPrima		Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.	Intervalo de confiança 95%	
					Lim. inferior	Lim. superior
MP1	MP2	-1,390	,2556	,000	-1,998	-,782
	MP3	-,283	,2556	,513	-,891	,326
MP2	MP1	1,390	,2556	,000	,782	1,998
	MP3	1,108	,2556	,000	,499	1,716
MP3	MP1	,283	,2556	,513	-,326	,891
	MP2	-1,108	,2556	,000	-1,716	-,499

(I) composição (J) composição

A100	A150	-,463	,2951	,401	-1,235	,308
	A25	-2,187	,2951	,000	-2,958	-1,415
	A50	-2,367	,2951	,000	-3,138	-1,595
A150	A100	,463	,2951	,401	-,308	1,235
	A25	-1,723	,2951	,000	-2,495	-,952
	A50	-1,903	,2951	,000	-2,675	-1,132
A25	A100	2,187	,2951	,000	1,415	2,958
	A150	1,723	,2951	,000	,952	2,495
	A50	-,180	,2951	,929	-,952	,592
A50	A100	2,367	,2951	,000	1,595	3,138
	A150	1,903	,2951	,000	1,132	2,675
	A25	,180	,2951	,929	-,592	,952

Anexo 18 – MANOVA: Testes de efeitos entre assuntos (Tensão de Rutura, Resistência ao Rasgo)

Fonte	Variável dependente	Tipo II Soma dos Quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Modelo corrigido	RUTURA	300,873	6	50,146	43,443	,000
	RASGAMENTO	188,407	6	31,401	18,715	,000
Ordenada na origem	RUTURA	46079,602	1	46079,602	39920,305	,000
	RASGAMENTO	6584,527	1	6584,527	3924,390	,000
matériaPrima	RUTURA	280,282	2	140,141	121,409	,000
	RASGAMENTO	43,180	2	21,590	12,868	,000
granuloMetria	RUTURA	4,070	1	4,070	3,526	,063
	RASGAMENTO	16,060	1	16,060	9,572	,002
composição	RUTURA	16,521	3	5,507	4,771	,004
	RASGAMENTO	129,167	3	43,056	25,661	,000
Erro	RUTURA	130,435	113	1,154		
	RASGAMENTO	189,597	113	1,678		
Total	RUTURA	46510,910	120			
	RASGAMENTO	6962,530	120			
Total corrigido	RUTURA	431,308	119			
	RASGAMENTO	378,003	119			

Anexo 19 – MANOVA: Comparações múltiplas (Tensão de Rutura, Resistência ao Rasgo)

Variável dependente	(I) matériaPrima	(J) matériaPrima	Diferença média (I-J)	Modelo padrão	Sig.
RUTURA	MP1	MP2	-,410	,2402	,207
		MP3	3,018	,2402	,000
	MP2	MP1	,410	,2402	,207
		MP3	3,428	,2402	,000
	MP3	MP1	-3,018	,2402	,000
		MP2	-3,428	,2402	,000
RASGAMENTO	MP1	MP2	-1,390	,2896	,000
		MP3	-,283	,2896	,594
	MP2	MP1	1,390	,2896	,000
		MP3	1,108	,2896	,001
	MP3	MP1	,283	,2896	,594
		MP2	-1,108	,2896	,001
(I) composição		(J) composição			
RUTURA	A100	A150	-,187	,2774	,907
		A25	,517	,2774	,250
		A50	,727	,2774	,049
	A150	A100	,187	,2774	,907
		A25	,703	,2774	,060
		A50	,913	,2774	,007
	A25	A100	-,517	,2774	,250
		A150	-,703	,2774	,060
		A50	,210	,2774	,873
	A50	A100	-,727	,2774	,049
		A150	-,913	,2774	,007
		A25	-,210	,2774	,873
RASGAMENTO	A100	A150	-,463	,3344	,511
		A25	-2,187	,3344	,000
		A50	-2,367	,3344	,000
	A150	A100	,463	,3344	,511
		A25	-1,723	,3344	,000
		A50	-1,903	,3344	,000
	A25	A100	2,187	,3344	,000
		A150	1,723	,3344	,000
		A50	-,180	,3344	,950
	A50	A100	2,367	,3344	,000
		A150	1,903	,3344	,000
		A25	,180	,3344	,950